

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Economia de energia em irrigação por pivô central em função da
melhoria na uniformidade da distribuição de água**

Christian José Mendoza Castiblanco

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Irrigação
e Drenagem

Piracicaba
2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Christian José Mendoza Castiblanco
Engenheiro Agrícola

Economia de energia em irrigação por pivô central em função da melhoria na uniformidade da distribuição de água

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ ANTÔNIO FRIZZONE**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Agronomia, Área de Concentração:
Irrigação e Drenagem

Piracicaba
2009

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Mendoza Castiblanco, Christian José

Economia de energia em irrigação por pivô central em função da melhoria na uniformidade da distribuição de água / Christian José Mendoza Castiblanco. - - Piracicaba, 2009.

70 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2009.
Bibliografia.

1. Distribuição de água 2. Economia de energia 3. Irrigação por pivô central 4. Simulação
I. Título

CDD 631.7
M539e

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Aos meus queridos Tios, Yamid Leonel, Marcos Manuel e Jhonny Castiblanco, pelo apoio e ajuda absoluta na realização deste trabalho.

DEDICO

À minha mãe Rafaela, meu pai Juan José, meu irmão Juan Fernando, minha irmã Karol Johanna e meu sobrinho Juan Manuel pelos conselhos e amor em todo momento

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ/USP, pela formação e amizade dos professores, funcionários e companheiros de estudo.

Ao departamento de Engenharia Rural, pelo apoio e ensino, em especial à

Ao professor orientador José Antonio Frizzone, pela oportunidade, dedicação, orientação e esforço na realização deste trabalho.

Aos professores Dr. Sergio Nascimento Duarte, Dr. Rubens Duarte Coelho, Jarbas Honório de Miranda, Dr. Tarlei Ariel Botrel, Dr. Marcos Vinicius Folegatti e Dr. Décio Eugenio Cruciani nas aulas ministradas por eles e que contribuíram na minha formação como mestre.

Aos colegas de pós-graduação pela amizade, em especial aos colegas Jorge Luis Copquer dos Santos Jr., Anthony Wellington Almeida Gomez, Marconi Batista Teixeira, Alexsandro Claudio dos Santos Almeida e Álisson Jadavi Pereira da Silva que me auxiliaram em tudo o período do curso.

À Patrícia Silva de Azevedo, pela ajuda, companheirismo e principalmente pelo carinho.

Aos meus queridos amigos colombianos, em especial à Julieth Parra, o Miguel Angel Quimbayo, a Marisol Garcia, o Sergio Arciniegas e a Claudia Navarrete que fizeram me sentir sempre na minha casa.

A todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram para que este trabalho pudesse ser realizado, meu grande agradecimento.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	15
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	17
1 INTRODUÇÃO	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 Uniformidade de aplicação de água	23
2.2 Distribuição de água em pivô central	24
2.3 Economia da Irrigação	29
2.3.1 Custos Fixos	29
2.3.2 Custos Variáveis	30
2.4 Custos associados à uniformidade de aplicação de água	33
3 MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1 Características do pivô avaliado	35
3.2 Cálculo do Coeficiente de Uniformidade	36
3.3 Função de produção da cultura irrigada	37
3.4 Receitas da cultura irrigada	37
3.5 Simulação das lâminas de irrigação aplicadas em cada coeficiente de uniformidade.....	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 Simulações das lâminas de água aplicadas.....	41
4.2 Variação do rendimento da cultura do feijoeiro e da receita bruta em função de diferentes coeficientes de uniformidade para irrigação total .	44
4.3 Influência da uniformidade de distribuição de água e do custo da água sobre a receita líquida para irrigação total.....	48
4.4 Influência da uniformidade de distribuição de água e do custo da água sobre a receita líquida para irrigação suplementar	52
5 CONCLUSÕES	61

REFERENCIAS	63
APENDICES	67

RESUMO

Economia de energia em irrigação por pivô central em função da melhoria na uniformidade de distribuição de água

Em sistemas de irrigação por pivô central, a eficiência de aplicação em campo esta diretamente relacionada com a uniformidade de distribuição, afetando a economia de energia, num manejo adequado da irrigação. Foram utilizados dados de lâmina aplicada, lâmina média, vazão e comprimento de um pivô central, da região de Guaíra SP, através de uma avaliação de desempenho. Foram simuladas lâminas de água aplicadas para valores de 70%, 73%, 75%, 78%, 80%, 83%, 85%, 88%, 90%, 93% 95% e 98% do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), mantendo-se constante o valor da lâmina média e conseqüentemente a vazão. As receitas líquidas obtidas com essas distribuições de água foram comparadas utilizando-se cinco preços do feijão: R\$1,75, R\$2,00, R\$2,25, R\$2,50, R\$2,75, R\$3,00 e R\$3,25 kg⁻¹e, de igual forma, para cinco custos por consumo da água: R\$ 0,01, R\$ 0,02, R\$ 0,03, R\$ 0,04, e R\$ 0,05m⁻³. Os resultados foram analisados considerando-se irrigação total e suplementar de 50% e 75%, nos períodos seco e úmido. A partir dos dados obtidos nas simulações verificou-se que os maiores coeficientes de uniformidade proporcionam maior receita líquida e maior economia de energia para os maiores preços do produto. As irrigações suplementares possibilitaram maiores lucros e maiores economia de energia, especialmente para irrigações realizadas no período úmido

Palavras – chave: Distribuição de água; Economia de energia; Irrigação por pivô central; Receita Líquida; Simulação

ABSTRACT

Energy economy in a center pivot irrigation system according to the improvement in the uniformity of water distribution

In irrigation systems by center pivot, the efficiency of applying in field is directly related to distribution uniformity, influencing in energy saving inside an appropriate irrigation management program. Were used data from applied layer, average layer, flow, and central pivot length, from Guairá SP, determined by IDE (1989) by a performance assessment. By simulation of collected layers values of 70%, 73%, 75%, 78%, 80%, 83%, 85%, 88%, 90%, 93% 95% and 98% were obtained from the Christiansen (CUC) Uniformity Coefficiency, keeping constant the average layer value and consequently the same flow. The obtained net income from those water distributions were compared using five beans prices in Brazilian currency R\$1,75, R\$2,00, R\$2,25, R\$2,50, R\$2,75, R\$3,00 and R\$3,25 kg⁻¹ and the same way, for five water consume costs: R\$ 0,01, R\$ 0,02, R\$ 0,03, R\$ 0,04, and R\$ 0,05m⁻³. The outcomes were analyzed considering the supplementary and total irrigation of 50% an 75% in humid and dry seasons. From obtained data by simulations were verified that the higher uniformity coefficients give higher liquid recipe and greater energy saving related to higher products prices. Supplementary irrigation gives the possibility of higher profit and greater energy saving, especially when made in the humid season

Keywords: Water distribution; Energy economy; Central pivot irrigation; Net income; Simulation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Função de produção do feijoeiro para a região de Guaíra (SP), obtida por Saad (1996)	38
Figura 2 – Perfil de aplicação de água pelo sistema pivô central	41
Figura 3 – Simulação das distribuições de água pelo pivô central com CUC's variando de 70% a 98% e lâmina media de 10,4 mm	43
Figura 4 – Rendimento do feijoeiro calculado para diferentes valores de coeficientes de uniformidade de distribuição de água (CUC)	44
Figura 5– Receita Bruta Relativa (%) calculada para os sete preços do produto para os diferentes Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC) avaliados	45
Figura 6 – Receita líquida relativa (%) em função do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), no período seco, para seis preços da água	49
Figura 7 – Receita líquida relativa (%) em função do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), no período úmido, para seis preços da água	51
Figura 8 – Receita líquida relativa (%) em função do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), no período seco para seis preços da água, com irrigação suplementar de 75%	53
Figura 9 – Receita líquida relativa (%) em função do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), no período úmido, para seis preços da água, com irrigação suplementar de 75%	55
Figura 10 – Receita líquida relativa (%) em função do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), no período seco para seis preços da água, com irrigação suplementar de 50%	57
Figura 11 – Receita líquida relativa (%) em função do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), no período úmido para seis preços da água, com irrigação suplementar de 50%	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de receita bruta para diferentes CUC´s em cada um dos preços do produto avaliado	46
Tabela 2 – Valores de receita bruta máxima para os 120,3 ha irrigados nos diferentes CUC´s em cada um dos preços do produto	47
Tabela 3 – Valores de receita líquida para diferentes CUC´s em cada um dos preços do produto avaliado, para irrigação suplementar de 75% no período seco e com custo por consumo da água de 0,02/m ³	54
Tabela 4 – Valores de receita líquida para diferentes CUC´s em cada um dos preços do produto avaliado, para irrigação suplementar de 75% no período úmido e com custo por consumo da água de 0,02/m ³	56
Tabela 5 – Valores de receitas líquidas para diferentes CUC´s em cada um dos preços do produto analisados, para irrigação suplementar de 50% no período seco e com custo por consumo da água de 0,02/m ³	58
Tabela 6 – Valores de receita líquida para diferentes CUC´s em cada um dos preços do produto avaliado, para irrigação suplementar de 50% no período úmido e com custo por consumo da água de 0,02/m ³	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AJA	Ajuste anual referente ao fator de potencia (\$)
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CAB	Custo anual de bombeamento (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹)
cos φ:	Fator de potência (adimensional)
CUC	Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, 1942 (%)
CUD	Coeficiente de uniformidade de Distribuição (%)
CV	Coeficiente de variação (%)
D	Demanda contratada (kW ha ⁻¹)
DNAEE	Departamento nacional de águas e energia elétrica
E	Energia consumida pela unidade de bombeamento (kWh)
FCa	Faturamento anual do consumo (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹)
FDa	Faturamento anual da demanda (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹)
H_{man}	Altura manométrica total (m)
ICMS	Imposto sobre circulação de mercadorias e serviços cobrados na região, (decimal)
kV	Unidade de tensão elétrica (quilovolt)
kW	Unidade de potência elétrica (quilowatt)
kWh	Unidade de medida de energia (quilowatt-hora)
N	Número de coletores
P	Primeiro elemento da série crescente de lâminas coletadas
Pot	Potência do motor (cv ha ⁻¹)
Q	Elemento da série crescente correspondente à soma de ¼ da área total
R_i	Distância do coletor i ao ponto do pivô (m)
s_d	Desvio padrão ponderados dos valores de precipitação (mm)
V	Volume de água bombeado (m ³)
X_i	Lâmina de água coletada no ponto “i” (mm)
\bar{X}	Lâmina média de todas as observações (mm)
\bar{X}_p	Lâmina media ponderada (mm)

- η Rendimento global da unidade de bombeamento, incluindo a bomba hidráulica, unidade motora e sistema de transmissão (adimensional)
- π Razão entre o perímetro e o diâmetro de uma circunferência (adimensional)
- γ Peso específico da água (MN m^{-3})

1 INTRODUÇÃO

No mundo, a agricultura irrigada é a maior usuária de água; por isso, com o aumento na escassez de recursos hídricos, criado pelo acréscimo nas demandas em outros setores e pela redução na produção de novas fontes hídricas, a agricultura irrigada sofre pressão para que reduza o consumo de água. Existem muitas soluções técnicas para o problema da escassez da água e os governos, no plano mundial, vêm empreendendo políticas e compromissos para reduzir o uso da água na agricultura, a partir da melhoria nas técnicas de aplicação e de distribuição nos sistemas irrigatórios.

No Brasil, essas soluções implicam a adoção de novas políticas no uso dos recursos hídricos, como a recente aprovação da cobrança pelo uso da água. A idéia é que os produtores rurais irrigantes priorizem a utilização precisa da água a ser aplicada em cada operação. Por isso, busca-se maior ênfase na adoção de soluções técnicas, que vão desde a melhoria na condução da água em projetos de irrigação, até o aumento de eficiência da aplicação nas parcelas, que depende da uniformidade de distribuição da água. Para tanto, necessita-se de investimentos em pesquisas, visando ao melhor aproveitamento do recurso.

Em sistemas de irrigação por pivô central, a eficiência da aplicação em campo relaciona-se diretamente à uniformidade da distribuição, que mede a variação espacial da precipitação, normalmente representada pelo coeficiente de uniformidade, de Christiansen, (1942), CUC, modificado por Hermann e Hein (1968). Geralmente, a uniformidade de distribuição é o principal critério utilizado para avaliar a adequação de um sistema de irrigação. Tarjuelo et al. (1996) salientam que os benefícios econômicos da irrigação aumentam em função do aumento da uniformidade de distribuição, independentemente do custo da água. Marek, Undersander e Ebeling. (1986), compararam o CUC ao coeficiente de variação (CV) e concluíram que o CV é mais adequado para comparações de sistemas de irrigação com pivô central, embora o CUC tenha sido consagrado pelo uso ao longo dos anos.

A uniformidade de aplicação da água, utilizada como um dos principais parâmetros para avaliar o desempenho de um sistema de irrigação, é afetada por vários fatores: o diâmetro da tubulação lateral, o diâmetro dos bocais, o espaçamento entre os

emissores, a altura do pendural, a característica operacional dos reguladores de pressão, a velocidade do vento e a uniformidade topográfica do terreno, Os cinco primeiros fatores são essencialmente hidráulicos, característicos do equipamento, podendo ser previstos no projeto do sistema (Frizzone e Dourado Neto, 2003). A velocidade do vento é um fator climático, que deve ser previsto durante a operação, e a topografia do terreno é um fator local, também previsível em projeto.

Pesquisas feitas anteriormente examinaram vários aspectos na interface entre projetos de irrigação, uniformidade de aplicação e produtividade da água de irrigação. Bernardo (1988) avaliou o impacto da lâmina de irrigação e da uniformidade de aplicação sobre os lucros na agricultura irrigada e mostrou que lâminas de irrigação maiores proporcionam respostas economicamente mais eficientes para baixa uniformidade de aplicação. A variabilidade dos lucros aumenta ao se considerarem os fatores tecnológicos e climáticos que afetam a uniformidade de aplicação da água. Feinerman, Shani e Bresler (1989) concluíram que o coeficiente de uniformidade técnico não é uma boa referência para selecionar um aspersor tal como é, o lucro econômico que também depende da resposta do cultivo e do custo da uniformidade. Em outra pesquisa, Montero-Martinez, Martinez e Martin-Benito (2004) examinaram, em detalhe, os custos da irrigação, considerando os seguintes componentes: custos de investimento, de energia, de mão-de-obra, de manutenção e custo da água. Observaram que o custo da aplicação de água pode ser reduzido em 40%, quando aumentada a eficiência de aplicação de 60% para 90%, e que a eficiência de irrigação é maior quando se aumenta o preço da água.

Nos sistemas de irrigação por pivô central, utilizam-se válvulas reguladoras de pressão, para minimizar os efeitos da variação de pressão na vazão dos emissores, permitindo uma pressão de saída aproximadamente constante em um intervalo de pressão de entrada. Essas válvulas reguladoras diminuem sua capacidade de regulação, por dimensionamento inadequado da linha lateral ou por desgaste pelo uso, necessitando-se aumentar a lâmina aplicada para compensar o efeito da falta de uniformidade na produção ou, alternativamente, trocar o conjunto de aspersão (válvula reguladora de pressão e emissor)

O objetivo deste trabalho é analisar as variações nos benefícios econômicos, decorrentes da irrigação por pivô central na cultura do feijoeiro, considerando as produtividades alcançadas com diferentes uniformidades de distribuição de água e os gastos com energia, mantendo-se a lâmina média aplicada nas diferentes uniformidades.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Uniformidade de aplicação da água

A uniformidade de aplicação da água é um dos parâmetros de desempenho da irrigação, que muitos especialistas na área consideram importante para avaliar-se a qualidade da irrigação. O termo uniformidade é aplicado aos parâmetros de desempenho, associados à variabilidade da lâmina de água aplicada na superfície do terreno.

Brennan e Calder (2006) afirmam que a lâmina ótima de irrigação é aquela que maximiza o lucro total esperado e que varia de acordo com a uniformidade de aplicação e com a curva de rendimento da cultura. Bernardo, Soares, e Montovani (2006) afirmam que a uniformidade de irrigação tem efeito no rendimento das culturas, sendo considerada um dos fatores mais importantes na operação de sistemas de irrigação.

Frizzone e Dourado Neto (2003) descrevem que os parâmetros de eficiência comumente utilizados na análise de desempenho de sistemas de irrigação são eficiência em potencial de aplicação, eficiência de distribuição, eficiência de aplicação e eficiência de armazenagem. Esses parâmetros são relações físicas entre as quantidades da água infiltrada no terreno e armazenada na zona radicular, requerida pela cultura e aplicada à parcela, e não provê informações relativas ao grau de adequação e à uniformidade de aplicação.

A eficiência de aplicação global de um sistema de irrigação por aspersão é um termo aplicado por Keller e Briesner (1990), para incluir o efeito das perdas de água, devido à não-uniformidade na aplicação, à percolação, à evaporação, causada pelo vento e ao vazamento em tubulações.

Segundo Duke, Heermann, e Dawson (1992), nenhum sistema de irrigação é capaz de aplicar água com perfeita uniformidade. Em geral, o aumento da uniformidade de distribuição da água requer investimento na melhoria dos sistemas, em manutenção e em mão-de-obra para o manejo racional da irrigação.

Edling (1978), citado por Assis (1995), estudou a influência da declividade do terreno sobre a uniformidade de aplicação de água em sistemas pivô central, com variações uniformes de $\pm 3\%$, $\pm 5\%$ e $\pm 7\%$ em sistemas de baixa pressão (336 kPa), de

média pressão (434 kPa) e de alta pressão (533 kPa) e encontrou novas relações entre a pressão e a vazão da bomba, que estavam em equilíbrio com a vazão dos bocais para uma declividade específica, e observaram que, para terrenos em declividade, ocorriam a redução da pressão requerida e o aumento da vazão.

2.2 Distribuição de água em pivô central

A uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação é obtida através de avaliações em campo. De acordo com Hanson e Lancaster (1986), a avaliação deve prover as características de funcionamento do equipamento, como uniformidade e quantidade de água aplicada, entre outras, para permitir a identificação de problemas nos projetos, os quais podem influenciar no custo de energia e no rendimento da cultura.

Segundo Heinemann et al. (1998), os fatores que afetam a uniformidade de distribuição da água podem ser classificados em climáticos e não-climáticos. Entre os primeiros, citam a evaporação da água, a temperatura do ar, a umidade relativa e o vento. Já os fatores não-climáticos são os relacionados ao equipamento e ao método de avaliação, podendo ser citados a pressão de operação do emissor, a velocidade e o alinhamento da linha lateral do pivô e a altura do emissor. A redução da altura do emissor em relação à cultura é uma técnica muito utilizada para reduzir as perdas por evaporação e por deriva. De acordo com James e Blair (1984), Denículi et al. (1993) e Miranda et al. (1994), a utilização de tubos de descida prejudica a sobreposição dos jatos, provocando um decréscimo na uniformidade de distribuição da água.

Em áreas irrigadas por pivô central, para determinarem-se a lâmina média de irrigação e a uniformidade de distribuição da água, faz-se necessário avaliar o sistema, mediante ensaios em campo. Esses ensaios, no Brasil, seguem a Norma Brasileira, 14244 (1998) da ABTN. O ensaio consiste na coleta de água em recipientes plásticos de 0,08 m de altura e 0,06 m de diâmetro, instalados a uma determinada altura da superfície do solo ao longo do raio do pivô. Assim, cada um dos volumes de água coletados representa uma determinada área irrigada, que será tanto maior, quanto maior for a distância entre o coletor e o centro do pivô. Os ensaios devem ocorrer, de preferência, nas condições normais de operação do sistema; a presença de ventos e a

pressão de entrada na linha lateral do pivô devem ser registradas. Segundo a NBR 14244 (1998), os coletores devem ser dispostos em linhas radiais, com espaçamento entre eles de 3 a 5 m, sendo o primeiro coletor colocado a uma distância do centro do pivô equivalente à metade do espaçamento adotado para os coletores. As linhas radiais de coletores devem ter um alinhamento de tal forma a se obter um ângulo de 3° entre elas.

Há sistemas que, por terem sido mal projetados, apresentam baixa eficácia, (FRIZZONE e DOURADO NETO, 2003). Nesses casos e também naqueles sistemas cuja eficácia nunca foi avaliada, o ensaio constitui a via para o levantamento dos dados necessários à tomada de decisão sobre melhorias a introduzir, para elevar a eficiência do sistema de irrigação.

A maioria das pesquisas sobre a qualidade da irrigação no pivô central tem, como base, o coeficiente de uniformidade de Heermann e Hein (1968), embora Bremond e Molle (1995) tenham demonstrado a pouca sensibilidade desse coeficiente às variações das lâminas de irrigação, se comparado ao coeficiente de uniformidade expresso em função do coeficiente de variação (CUv), proposto por eles. Perez et al. (2003), depois de avaliar um conjunto de sistemas pivô central, concluíram que um só indicador não resulta suficiente para dar um conceito sobre a qualidade da irrigação e que os fatores que mais afetam a uniformidade da irrigação nos pivôs estão relacionados aos defeitos técnicos e à montagem errada dos bocais e dos reguladores de pressão. Allen (1990) deu importante contribuição à teoria do projeto hidráulico de pivô central, ao incorporar critérios agrônômicos ao projeto tradicional existente. Pérez e Martínez (2004) simplificaram o sistema de equações proposto por Allen, transformando este algoritmo cíclico em outro linear, o qual foi programado e aplicado a um caso de estudo.

Segundo Keller e Bliesner (1990), a dependência da vazão dos reguladores de pressão deveria ser incorporada ao projeto de um sistema de irrigação tipo pivô central, e, desse modo, os efeitos de vazões diferentes, decorrentes da pressão de saída, poderiam ser compensados, ajustando-se o diâmetro do bocal do aspensor.

Durante muitas décadas, os pesquisadores propuseram diferentes coeficientes para expressar a uniformidade da lâmina de irrigação aplicada, com base em

observações pontuais. Christiansen (1942), estudando a influência do vento, da pressão de operação, da velocidade de rotação e do espaçamento entre aspersores rotativos, foi o primeiro a quantificar a uniformidade de aplicação de água através de um coeficiente, obtido pela seguinte equação:

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N |X_i - \bar{X}|}{N \cdot \bar{X}} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

em que:

CUC: Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, %;

N: Número de coletores;

X_i : Lâmina coletada no ponto “i”, mm e

\bar{X} : Lâmina média de todas as observações, mm.

Como pode ser observado, esse coeficiente utiliza o desvio absoluto em relação à média, sendo mundialmente conhecido. Segundo Dourado Neto, van Lier e Frizzone (1994), o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e o Coeficiente de Distribuição (CUD), proposto por Criddle et al. (1956), são os mais recomendados para quantificar a uniformidade de distribuição de água para sistemas do tipo pivô central. Além desses dois coeficientes, os ensaios dos equipamentos pivô central podem fornecer o coeficiente de variação das lâminas, a eficiência de aplicação e de armazenagem e a indicação das áreas deficientemente irrigadas.

Letey, Vaux e Feinerman (1984) citam que a importância da uniformidade de aplicação da água, expressa pelo Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), na determinação da lâmina ótima de irrigação, tem sido amplamente reconhecida, embora nenhuma análise quantitativa universal tenha sido desenvolvida. No sistema de irrigação por aspersão convencional, cada coletor representa uma área similar; já no caso da avaliação do pivô central, os coletores são equidistantes e posicionados ao longo de uma linha radial, que vai do centro do pivô para a extremidade, representando,

assim, uma área cada vez maior. Nesse caso, não é possível aplicar diretamente a equação desenvolvida por Christiansen (1942), que considera o coletor representando áreas de mesmo tamanho. No caso do pivô central, existem equações apropriadas para determinar a uniformidade de aplicação da água, como a proposta por Heermann e Hein (1968), que modificaram a equação original de Christiansen (1942), ponderando as lâminas coletadas pela área representativa de cada coletor, ou pela distância do coletor ao ponto do pivô [eq (2)]:

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N L_i - \frac{\sum_{i=1}^n X_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}}{\sum_{i=1}^n X_i S_i} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

em que:

S_i : distância do centro do pivô ao coletor i , m;

X_i : lâmina de água coletada no coletor i , mm;

n : número total de coletores.

Outra medida de uniformidade utilizada é o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), recomendado pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos, sendo este a razão entre a média de 25% dos menores valores de lâminas de irrigação e a lâmina média aplicada na superfície do solo, denominada, por isso, como eficiência-padrão. Foi denominada, por Kruse (1978), de uniformidade de distribuição, mas é também conhecida por Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD).

O CUD é uma medida frequentemente utilizada como indicador dos problemas de distribuição de água (Frizzone, 1992). Da mesma forma que ocorreu com o CUC, esse coeficiente foi modificado por Heermann e Hein (1968), dando como resultado [eq (3)]:

$$CUD = \frac{\left[\frac{\sum_{i=p}^q X_i S_i}{\sum_{i=p}^q S_i} \right]}{\left[\frac{\sum_{i=p}^n X_i S_i}{\sum_{i=p}^n S_i} \right]} \cdot 100 \quad (3)$$

em que:

p: primeiro elemento da série crescente de lâminas coletadas;

q: elemento da série crescente correspondente à soma de ¼ da área total.

Wilcox e Swailes (1947) propuseram o Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE), utilizando o desvio-padrão como medida de dispersão, para o qual se aceitam valores acima de 75%, sendo obtido pela [eq (4)]:

$$CUE = 100 \cdot \left(1 - \frac{S_d}{\bar{X}} \right) \quad (4)$$

em que:

CUE: Coeficiente de Uniformidade Estatístico, %;

S_d : Desvio-padrão dos valores de precipitação, mm;

\bar{X} : Lâmina média de todas as observações, mm.

HART (1961) propôs um coeficiente de uniformidade que também incorpora o desvio-padrão [eq (2)] e considera que as lâminas de irrigação têm distribuição normal, sendo obtido pela equação:

$$CUH = 100 \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{S_d}{\bar{X}} \right) \quad (5)$$

CUH: Coeficiente de Uniformidade de Hart, %;

S_d : Desvio-padrão dos valores de precipitação, mm;

\bar{X} : Lâmina média de todas as observações, mm.

2.3 Economia da Irrigação

Do ponto de vista econômico, os projetos de irrigação devem ser lucrativos, e sua operação deve ser conduzida de modo que os produtos tenham maior valor que o total de insumos do projeto. Segundo Zocoler (2003), para fins de análise econômica, o custo significa a compensação que os donos dos fatores de produção, utilizados por uma firma para produzir determinado bem, devem receber para que eles continuem fornecendo esses fatores à mesma. Da mesma forma, a análise econômica deve medir os efeitos do projeto na economia de seus realizadores ao longo do tempo (Frizzone et al., 2005).

2.3.1 Custos Fixos

São os custos que não se alteram com a quantidade produzida. Com referência a esta classificação, Turra (1990), Melo (1993) e Pinheiro et al. (2002) salientam que são principalmente a depreciação dos componentes do sistema e a remuneração do capital investido. Frizzone et al (2005) afirmam que, na composição anual dos custos fixos, se devem considerar, basicamente, a depreciação dos ativos fixos, as taxas, os seguros, os impostos, os serviços de empreiteiras, as reservas de contingência e a remuneração do capital investido.

A depreciação é o custo necessário para substituir os bens de capital de longa duração, quando estes se tornam inutilizáveis, em decorrência do desgaste físico, e perdem valor com o passar dos anos, devido às inovações ou à capacidade de gerar receitas (FRIZZONE, 2005). A depreciação considera o custo inicial e uma vida útil esperada para o equipamento. Segundo Marouelli e Silva (1998), Bonomo, Mantovani e Caixeta (1999) e Silva, Faria e Reis (2003), a vida útil esperada do equipamento pode variar no tempo, dependendo das diferentes condições físicas de operação, do nível de reparo, da operação e da manutenção praticadas e do número total de horas em que o sistema é usado a cada ano.

Segundo Zocoler (2003), a remuneração ou os juros sobre o capital investido significam que o empresário renunciou à remuneração que poderia ter obtido pela aplicação de seus capitais em alternativas.

2.3.2 Custos Variáveis

Os custos variáveis dependem, principalmente, do número de horas de operação do equipamento de irrigação ao ano. Frizzone et al. (2005) e Zocoler (2003) destacam, entre os custos variáveis de maior importância, o consumo anual de energia para o bombeamento, a mão-de-obra e a manutenção do equipamento. Outra classificação, feita por Frizzone et al. (2005), afirma que os custos variáveis se subdividem em custos financeiros, relativos aos custos anuais financiados e pagos durante a operação, e em custos de operação, de manutenção e de reposição, necessários para a operação adequada dos elementos que constituem o projeto.

Os custos de operação, de manutenção e de reposição, geralmente, são difíceis de avaliar; dessa forma, são obtidos mediante cálculos a partir de valores médios anuais, expressos em percentuais sobre o valor de compra do equipamento (MELO, 1993; ZOCOLER, 1998). Na pesquisa feita por Melo (1993), sentiram-se dificuldades para obter o registro de gastos de manutenção e de reparos nos sistemas de irrigação; assim, optou por estimá-los através do percentual de investimento, adotando 4% ao ano sobre o investimento em equipamentos de irrigação e 1,25% sobre o valor de investido em obras e em instalações de infraestrutura.

Segundo Melo (1993), os custos com energia, nos sistemas de irrigação, representam a maior parte dos custos variáveis, podendo chegar até 70%, dependendo do método utilizado. O aspecto energético na irrigação é de grande importância, principalmente em épocas de crise. Em algumas regiões e em determinadas épocas do ano, pode até ocorrer sobrecarga do sistema, com consequências prejudiciais, tais como falhas operacionais, decorrentes de cortes no fornecimento, entre outras.

A quantidade de energia consumida pelo equipamento de irrigação vai depender da quantidade de água a ser transportada do local de captação à área a ser irrigada, para suprir as necessidades hídricas da cultura, sendo, dessa forma, muito variável. Segundo Scaloppi (1985), o consumo total de energia depende da quantidade de água

demandada na área irrigada, da quantidade de água a ser aplicada, da energia hidráulica exigida pelo sistema de irrigação e da eficiência total do sistema de bombeamento. Além disso, os maiores valores de consumo de energia estão associados, em ordem decrescente de consumo, aos seguintes sistemas: autopropelido, pivô central, aspersão, localizada e superfície.

Bernado (2006) apresenta uma expressão para estimar o consumo de energia elétrica no bombeamento de água para irrigação:

$$E = \frac{V H_{man} \gamma}{3,6 \eta} \quad (6)$$

em que:

E: energia consumida pela unidade de bombeamento, kWh;

V: volume de água bombeado, m³;

H_{man} : altura manométrica total, m;

γ : peso específico da água, MN m⁻³;

η : rendimento global da unidade de bombeamento, incluindo a bomba hidráulica, da unidade motora e do sistema de transmissão, adimensional.

Zocoler (2003) apresenta uma equação para determinar o custo de bombeamento anual (CBA) de um sistema elevatório de água, com bomba hidráulica acionada por motor a eletricidade, obtida pela equação adaptada do Comitê de Energia Elétrica CODI, (1988):

$$CBA = FAD + FAC + AJA \quad (7)$$

em que:

FAD: faturamento anual da demanda, \$;

FAC: faturamento anual do consumo de energia elétrica, \$;

AJA: ajuste anual referente ao fator de potência, \$.

No Brasil, as tarifas de energia até 1981 eram calculadas por um único sistema, denominado convencional, sem diferenciação de preços ao longo do dia e de períodos

do ano. Sendo assim, era indiferente o irrigante consumir água durante a madrugada ou à noite, assim como praticar um consumo mais elevado durante o período seco ou o período úmido do ano. Na atualidade, as tarifas de energia elétrica no Brasil são reguladas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), por intermédio da resolução N.º 456 (29 de novembro de 2000). Os critérios de faturamento de energia elétrica possuem uma estruturação tarifária que atende a três tipos de tarifa (convencional, verde e azul); já para definir seu preço, dispõe-se de dois componentes básicos: um relativo à demanda de potência (kW) e outro relativo ao consumo de energia (kWh).

Da mesma forma, a estrutura tarifária horo-sazonal, caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano, é aplicada aos consumidores atendidos em tensão de fornecimento igual ou superior a 2,3 kV (grupo A).

Com base no relato anterior, a diferenciação tarifária, feita para estimular o deslocamento de parte da carga para os horários em que o sistema elétrico estiver menos carregado, e para os períodos do ano de maior disponibilidade hídrica, podem-se definir as seguintes tarifas de energia (Brasil, 2000; Zocoler, 2003):

Tarifa Azul: modalidade estruturada para a aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, bem como de tarifas diferenciadas de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia, aplicadas às unidades consumidoras atendidas em tensão superior ou igual a 500 kW e opcionalmente às unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 69 kV, com demanda de potência entre 50 kW e 500 kW.

Tarifa Verde: modalidade estruturada para a aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, bem como de uma tarifa única de demanda de potência, aplicada opcionalmente a unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 69 kV e com demanda de potência igual ou superior a 500 kW.

Horário de Ponta: este período é definido pela concessionária e composto por três (3) horas diárias consecutivas, dentro do período das 17 às 22 h, exceção feita aos

sábados, domingos e dias festivos nacionais, considerando-se as características de cada sistema elétrico.

Horário fora de ponta: é composto pelo período das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta, acrescidas à totalidade das horas dos sábados, domingos e dias festivos nacionais.

Período Úmido: período de 5 (cinco) meses consecutivos, compreendendo os fornecimentos abrangidos pelas leituras de dezembro de um ano a abril do ano seguinte.

Período Seco: período de 7 (sete) meses consecutivos, compreendendo os fornecimentos abrangidos pelas leituras de maio a novembro.

Para os consumidores rurais, pertencentes ao subgrupo A4, são concedidos descontos especiais para os irrigantes que solicitem esses benefícios, conforme a Portaria nº 105 de 3 de abril de 1992 do DNAEE, citado por Zocoler (2003) Todavia esses descontos só são aplicáveis à irrigação realizada entre 23:00 e 05:00, precisando-se de uma rede elétrica exclusiva para o equipamento de irrigação, além de ficarem a cargo do consumidor os equipamentos de medição e de controle da energia fornecida.

2.4 Custos associados à uniformidade de aplicação da água

Segundo Brennan e Tradel (2006), a análise econômica não vai depender unicamente dos resultados do projeto de irrigação, baseados na receita líquida esperada, porém, da relação entre a uniformidade de aplicação e os custos do capital. Acrescente-se que, para uma dada uniformidade de aplicação, a variação da receita líquida esperada vai depender da atuação do vento a diferentes velocidades. Em outra pesquisa desenvolvida (Brennam, 2008), concluiu-se que a receita líquida esperada no projeto de irrigação também vai depender, além da atuação do vento a diferentes velocidades, da variação do custo de capital.

Os custos associados à uniformidade de aplicação, no sistema de irrigação pivô central, dependem da capacidade de o equipamento fornecer água à cultura irrigada. Um nível aceitável de uniformidade é desejável, por minimizar o dispêndio com água, não se necessitando de aumentar o tempo de irrigação ou o volume da água aplicada

para suprir o déficit. Além desses custos a irrigação por pivô central é sensível a outros fatores, incluindo as variações de preços do produto, de energia e os custos operacionais, sendo a soma deles de significância alta para o projeto (WOOD, WANG e BETHUNE, 2007).

Souza (2001) considera os seguintes valores para calcular os custos com manutenção e reparos de um sistema pivô central: 0 a 1 ano, o equipamento está na garantia e não há custo com manutenção para o produtor rural; 1 a 2 anos, 0,5% do valor do equipamento; 2 a 5 anos 1 % do valor do equipamento; mais de 5 anos, 1,5 % do valor do equipamento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido com a linguagem de programação *Visual Basic*, usando como base o programa de *Excel* e seus Macros. Essa linguagem foi selecionada pela simplicidade de programação e principalmente, pela facilidade de se fazerem atualizações futuras nas suas rotinas.

Como primeira etapa do trabalho foi realizada a programação dos Macros para determinar o valor do coeficiente de uniformidade nos valores de 70%, 73%, 75%, 78%, 80%, 83%, 85%, 88%, 90%, 93%, 95% e 98%, isto, simulando as lâminas da água coletadas no teste de desempenho do pivô, o que foi conseguido utilizando-se o Solver do programa Excel, tendo como restrições o valor da lâmina média aplicada (10,4 mm) e os valores máximos e mínimos das lâminas médias coletadas no teste de desempenho 4,0 mm e 13,4 mm, respectivamente, e como célula objetivo o valor desejado a atingir do CUC.

Após das simulações realizou-se o cálculo do rendimento da cultura com a função de produção obtida por Saad (1996). Com os dados de rendimento determinaram-se as receitas brutas para cada um dos preços avaliados do feijoeiro.

Seguidamente foi realizado o cálculo dos custos por consumo de energia e por consumo da água, para determinar os valores da receita líquida para cada um dos coeficientes de uniformidade avaliados.

3.1 Características do pivô avaliado

Neste trabalho utilizou-se como base um sistema pivô central da região de Guaíra (SP), descrito por IDE (1989), cujas características de projeto são apresentadas a seguir:

Velocidade Deslocamento da ultima torre a 50%: 80,4 m h⁻¹

Velocidade Máxima da Última Torre (100%): 160,8 m h⁻¹

Propriedade: Fazenda Santa Helena – Guaira (SP)

Comprimento da Lateral: 613,9 m

Número de Torres: 13

Distância entre torres: 46,3 m

Comprimento do Balanço: 12m

Alcance do Canhão Final: Não possui

Raio Efetivo da Área Irrigada (R_T): 619,9 m

Comprimento da linha lateral (R_L): $46,3 \times 13 + 12 = 613,9$ m

Comprimento até a última torre (R_U): $46,3 \times 13 = 601,9$ m

Raio de área básica irrigada (R_b): $613,9 + 5 = 618,9$ m

Área irrigada (A): 120,3 ha

Potencia do Conjunto motobomba = 250 CV

Vazão: $316 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$

Diâmetro do Coletor: 82 mm

Área do Coletor: $5278,34 \text{ mm}^2$

Para este pivô central IDE (1989) apresenta um ensaio de uniformidade de aplicação da água, utilizando-se duas linhas de coletores defasadas de 3° , com coletores espaçados de 5,5 m. No apêndice A são apresentados os dados coletados no ensaio de distribuição de água.

3.2 Cálculo do Coeficiente de Uniformidade

Para o cálculo do coeficiente de uniformidade de aplicação de água pelo sistema pivô central foram adotadas as seguintes equações:

Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (1942) modificado por Heermann e Hein (1968)

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^N S_i \left| X_i - \frac{\sum X_i S_i}{\sum S_i} \right|}{\sum X_i S_i} \right] \quad (8)$$

em que:

CUC – coeficiente de uniformidade, %

X_i – lâmina de água coletada, mm

S_i – distância do coletor i ao ponto do pivô, m

Na Eq. (8) utiliza-se a lâmina média ponderada \bar{X}_p para o cálculo de CUC, expressa pela seguinte equação:

$$\bar{X}_p = \frac{\sum X_i S_i}{\sum S_i} \quad (9)$$

As simulações dos coeficientes de uniformidade foram realizadas para atingir valores de 70%, 73%, 75%, 78%, 80%, 83%, 85%, 90%, 93%, 95% e 98%, mantendo-se a lâmina média aplicada pelo pivô.

3.3 Função de produção da cultura irrigada

A cultura utilizada neste trabalho foi o feijoeiro, cuja função de produção (Figura 1) foi obtida por Saad (1996) para a região de Guaíra (SP).

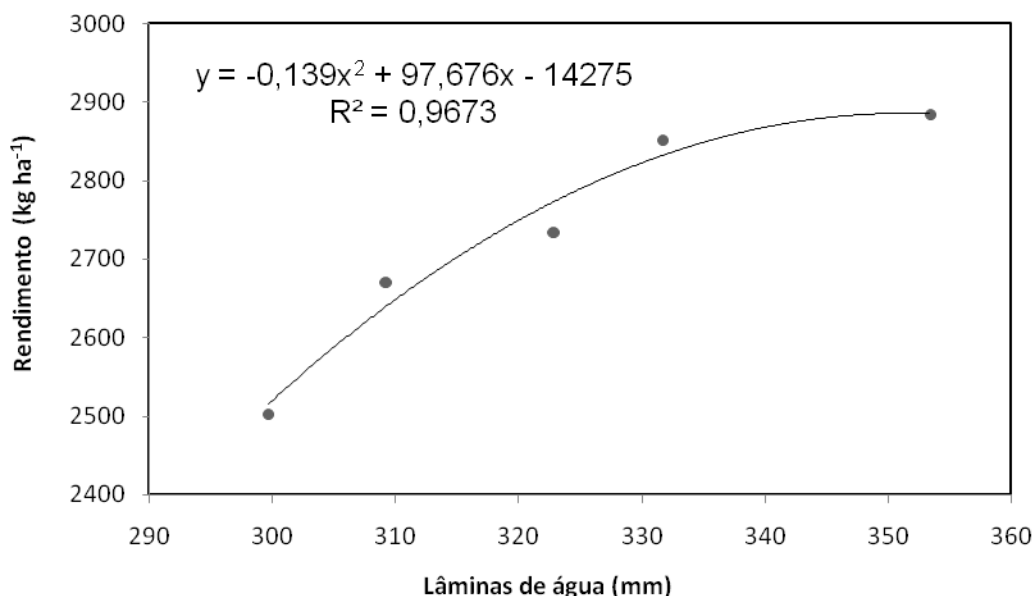


Figura 1 – Função de produção do feijoeiro para a região de Guaíra (SP), obtida por Saad (1996).

3.4 Receitas da cultura irrigada

Para o cálculo da receita bruta utilizaram-se sete preços para o produto, R\$1,75/kg, R\$2,00/kg, R\$2,25/kg, R\$2,50/kg, R\$2,75/kg, R\$3,00/kg e R\$3,25/kg, multiplicados pelos rendimentos. Para obter as margens brutas, ou receita líquida operacional (receita bruta menos custos operacionais) foram utilizados os gastos com energia e água. Na estimativa dos custos de água foram considerados os custos por consumo (R\$ 0,01/m³ até R\$ 0,05/m³).

O custo de energia foi estimado tendo como base a tarifa Verde, do subgrupo A4 (2,3 a 25 kW). Nesse subgrupo as tarifas se dividem em: (a) tarifa por demanda: R\$4,67 por kW, aplicado o mesmo valor para o horário de ponta e horário fora de ponta; e (b) tarifa por consumo: R\$ 416,3 por MWh para o período seco em horário de ponta; R\$ 43,74 por MWh para o período seco em horário fora de ponta; para o período úmido os custos por consumo em período de ponta e fora de ponta são R\$ 409,47 e R\$ 38,66 por MWh, respectivamente e; (c) tarifa por ultrapassagem tendo o valor para o horário de ponta e fora de ponta de R\$14,04 por kW. Segundo Souza (2001) pode-se optar por desconsiderar as tarifas de ultrapassagem de carga nos cálculos de custo de energia,

porque os motores elétricos utilizados em projetos de irrigação são em número reduzidos e basicamente exclusivos para realizar o acionamento de bombas hidráulicas e equipamentos destinados à movimentação do sistema de irrigação.

O custo anual de bombeamento foi obtido pela Eq. (13) desenvolvida por Marques (2005), considerando o motor elétrico

$$CAB = (FDa - FCa) \cdot \left(\frac{0,92}{\cos \varphi} \right) \cdot (1 + ICMS) \quad (13)$$

em que:

Cab: Custo anual do bombeamento, (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹)

FCa: Faturamento anual do consumo, (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹)

FDa: Faturamento anual da demanda, (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹)

ICMS: Imposto sobre circulação de mercadorias e serviços cobrados na região,
(decimal)

cos φ : fator de potência

Para o cálculo anual de bombeamento primeiro foi calculado o faturamento mensal da demanda obtido pela Eq. (14), sendo que os meses em que não há necessidade de irrigar existe a cobrança de 10% do valor da demanda (SOUZA, 2001; ZOOCOLER, 2003).

$$D = 0,736 \cdot Pot \quad (14)$$

em que:

D: demanda contratada (kW ha⁻¹)

Pot: potência do motor (cv ha⁻¹)

3.5 Simulação das lâminas de irrigação aplicadas em cada coeficiente de uniformidade

A simulação foi realizada para cada um dos valores dos coeficientes de uniformidade, descritos anteriormente, variando a lâmina média de água aplicada por cada setor do pivô (lâmina coletada), porém, mantendo-se a lâmina média aplicada na área total irrigada. Este procedimento foi feito utilizando-se Solver do Excel, fazendo-se variar cada uma das lâminas aplicadas aleatoriamente até atingir um valor prefixado de coeficiente de uniformidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Simulações das lâminas de água aplicadas

Como base nas simulações da distribuição de água utilizou-se um pivô central cujo perfil de distribuição de água inicial é apresentado na Figura 2, e as lâminas de água coletadas no ensaio estão no apêndice A, conforme apresenta IDE (1989). Para esta distribuição obteve-se lâmina média aplicada de 10,4 mm e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) igual a 88,2 %.

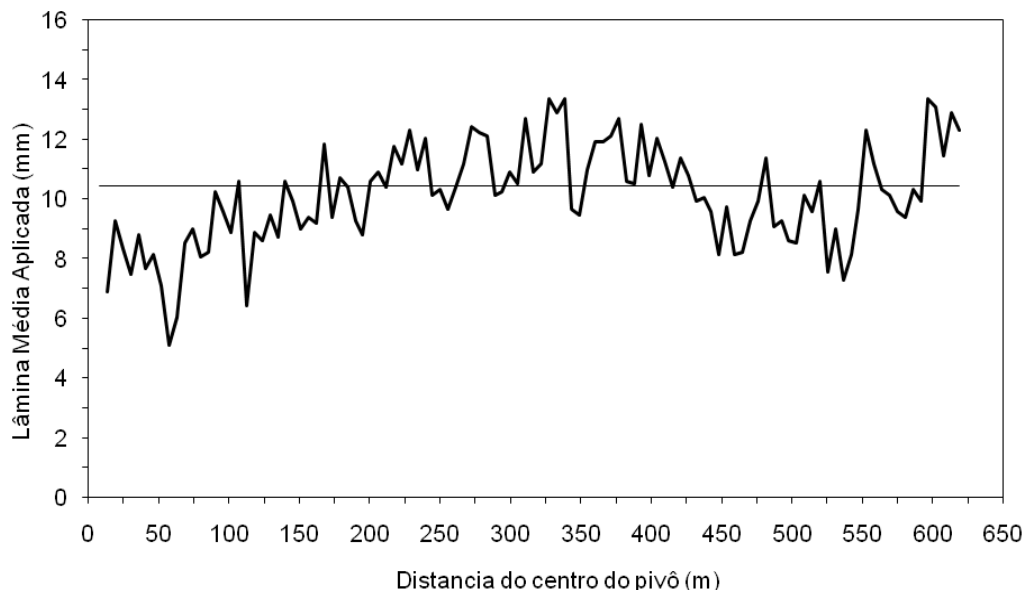
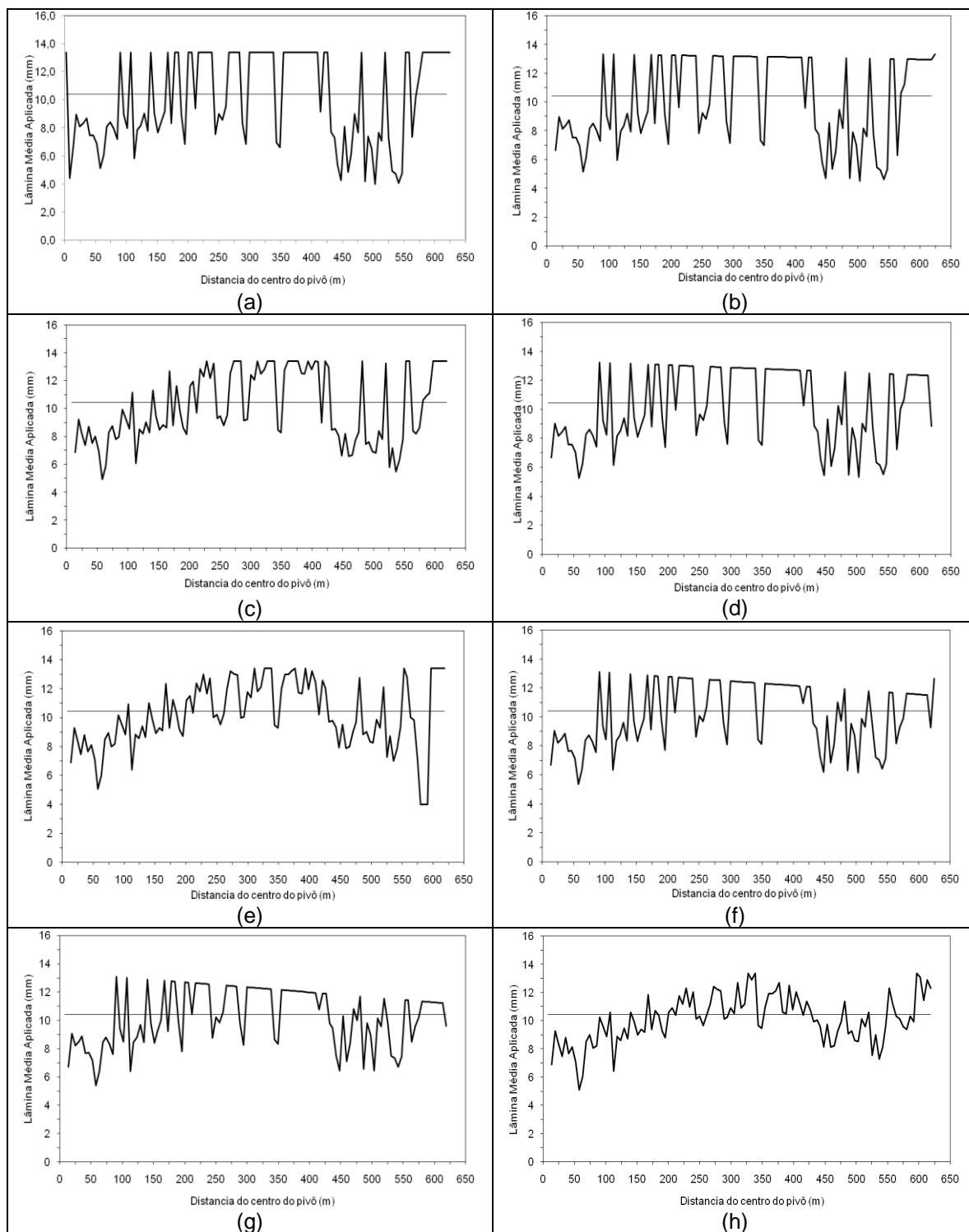


Figura 2 – Perfil de aplicação de água pelo sistema pivô central

Foram simuladas 12 distribuições de água com CUC's de 70%, 73%, 75%, 78%, 80%, 83%, 85%, 88%, 90%, 93%, 95% e 98%. Com estas distribuições foram estimadas produtividades, receitas brutas e receitas líquidas, utilizando sete preços do produto, variando de R\$1,75/kg a R\$3,25/kg. Nas Figuras 3a a 3l são apresentadas as distribuições de água simuladas para os diferentes CUC's.



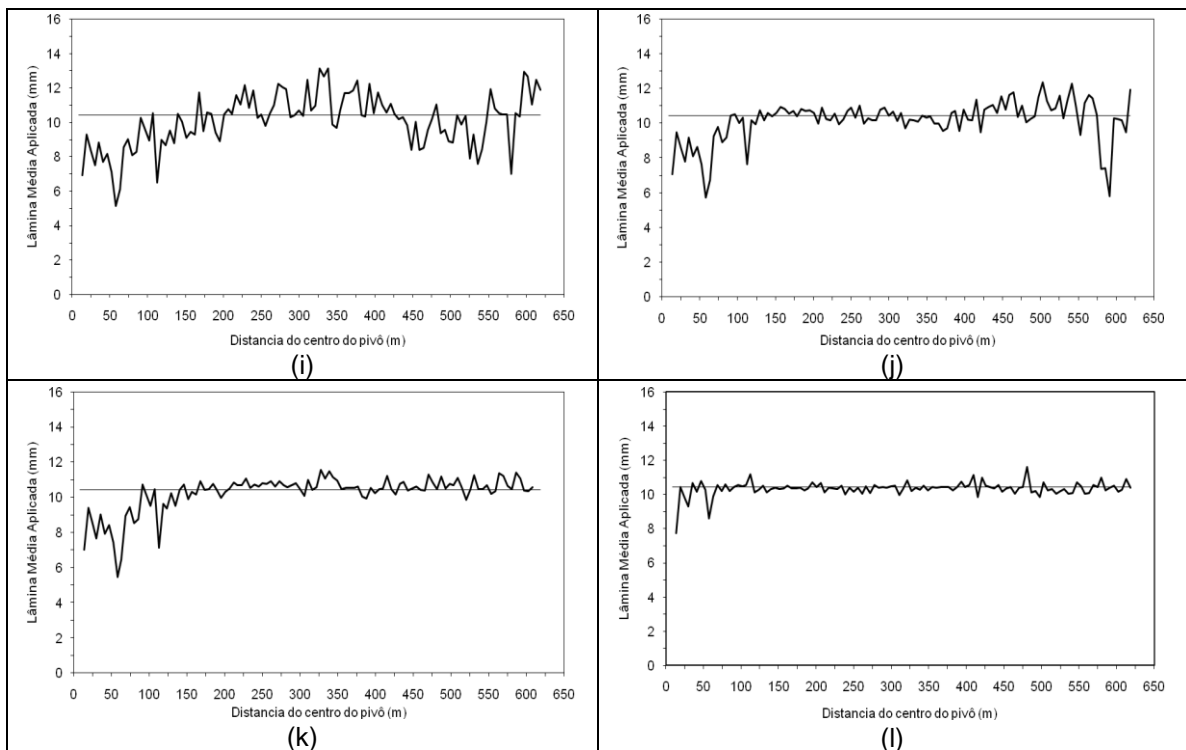


Figura 3 – Simulação das distribuições de água pelo pivô central com CUC's variando de 70% a 98% e lâmina média de 10,4 mm

Como no sistema pivô central a área irrigada por cada um emissor aumenta na medida em que se afasta do centro do pivô, o coeficiente de uniformidade é mais afetado pela distribuição de água que ocorre nos vãos mais distantes do centro do pivô central. Para compensar o aumento de área a vazão de cada emissor ao longo da linha lateral do equipamento também aumenta, de modo que toda a área possa ser irrigada o mais uniformemente possível. Nas simulações feitas na Figura 3, para os CUC's de; (a) 70%, (b) 73%, (c) 75%, (d) 78%, (e) 80%, (f) 83%, (g) 85%, (h) 88,2%, (i) 90%, (j) 93%, (k) 95% e (l) 98% observa-se que se consegue um coeficiente de uniformidade maior para aplicação de água mais uniforme no final da linha do pivô.

Na Figura 3(a) onde se observa a distribuição da água pelo pivô central, simulada com CUC = 70%, verifica-se a baixa uniformidade nos vãos mais distantes do centro do pivô. Já na Figura 3(h), com valor de CUC = 88,2%, sendo este valor o representativo da distribuição de água do pivô com os dados coletados no ensaio, a aplicação da água é mais uniforme nos vãos da metade e final do pivô. Da mesma forma, nas Figuras 3(k) e 3(l) com CUC = 95% e CUC = 98%, respectivamente, a

distribuição de água é ainda mais uniforme nos vãos finais do equipamento, onde se ocorrem as maiores áreas irrigadas por cada emissor, mantendo, para todos os valores de CUC, a mesma lâmina média de 10,4 mm.

4.2 Variação do rendimento da cultura do feijoeiro e da receita bruta em função de diferentes coeficientes de uniformidade para irrigação total

Os cálculos do rendimento para cada um dos diferentes coeficientes de uniformidade avaliados foram realizados a partir da função de produção expressa pela Eq. (15), desenvolvida por Saad (1996).

$$y = -0,139 \cdot x^2 + 97,676 \cdot x - 14275 \quad (15)$$

A Figura 4 apresenta a curva de rendimento médio do feijoeiro para cada um dos coeficientes de uniformidade avaliados, supondo que toda água necessária à cultura é proveniente da irrigação.

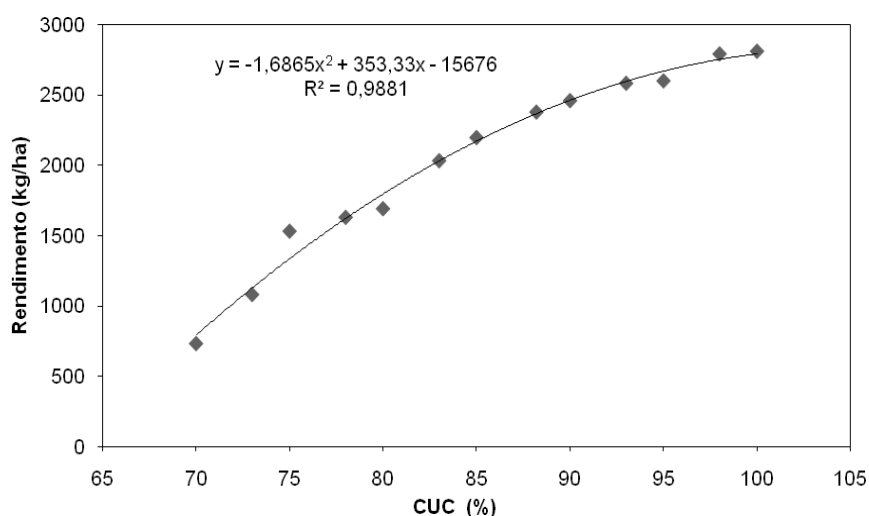


Figura 4 – Rendimento médio do feijoeiro calculado para diferentes valores de uniformidade de distribuição de água (CUC)

Depois de serem realizados os cálculos dos rendimentos médios em função dos coeficientes de uniformidade, foram calculadas as receitas brutas resultantes da irrigação do feijoeiro, para irrigação total, para diferentes pecos do produto. Na Figura 5 apresentam-se os valores relativos de receitas brutas possíveis de serem obtidos com preços do feijão variando de R\$ 1,75 a R\$ 3,25 por quilo.

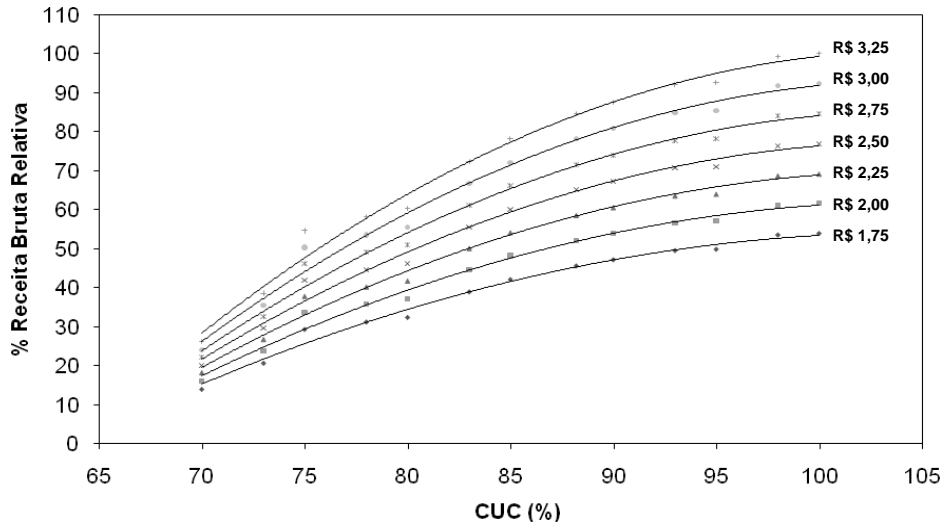


Figura 5 – Receita Bruta Relativa (%) calculada para os sete preços do produto para os diferentes Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC) avaliados

Um resumo dos principais resultados de receita bruta, em três valores de CUC, é apresentado na Tabela 1. Os valores de receita bruta crescem com o aumento da uniformidade, uma vez que se obtêm maiores rendimentos de grãos. O maior valor de receita bruta seria obtido com CUC = 100%, porém este valor de coeficiente de uniformidade não acontece na prática. Para o CUC de 70% espera-se o menor valor de receita bruta, o que, dependendo dos custos da irrigação poderá proporcionar o menor valor de receita líquida. Verifica-se também que para valores de CUC menores, o preço do produto tem menor influência sobre a variação da receita bruta.

No CUC = 100% o valor máximo da receita bruta (R\$ 9134,90) foi atingido quando o preço do produto foi R\$ 3,25/kg. Para este preço e CUC = 88,2%, o valor da receita bruta reduz-se para R\$ 7731,50/ha, representando uma variação da receita bruta de 15,4% em relação ao valor máximo atingido com CUC de 100% e preço do produto de R\$ 3,25/kg. Já para o CUC = 70%, com o mesmo preço do feijão (R\$3,25 kg), a receita bruta atinge um valor mínimo de R\$ 2383,30/ha, correspondendo uma

redução de 73,9% em relação ao CUC de 100%, e uma redução de 69,2% em relação ao CUC = 88,2%.

Tabela 1 – Valores de receita bruta para diferentes CUC's em cada um dos preços do produto avaliado

Preço do produto R\$/kg	Receita bruta máxima (R\$/ha)		
	CUC = 100%	CUC = 88,2%	CUC = 70%
3,25	9134,90	7731,50	2383,30
3,00	8432,22	7136,77	2199,97
2,75	7729,53	6542,04	2016,63
2,50	7026,85	5947,31	1833,30
2,25	6324,16	5352,58	1649,97
2,00	5621,48	4757,85	1466,64
1,75	4918,79	4163,12	1283,31

Quando é comparada a receita bruta para o mesmo CUC, pode-se observar que, para o valor de CUC = 100%, têm uma redução gradual de 7,69% para cada preço do produto avaliado. Por exemplo, a redução da receita para o preço de R\$3,00/kg em relação ao preço de R\$3,25/kg é de 7,69%, e para o preço de R\$2,75/kg a redução é de 15,38%, alcançando assim, para o menor preço do feijão (R\$1,75/kg), uma redução na receita bruta de 46,15%.

Para CUC = 88,2% a redução, desde o preço do produto mais alto (R\$3,25/kg) ao preço mais baixo (R\$1,75/kg), é de 39,06%, de tal modo que, para cada preço ocorre uma redução gradual de 6,51%, significando que a redução na receita bruta obtida com uma redução do preço de R\$3,25/kg para R\$3,00/kg será de 6,51% e, para o preço de R\$2,75/kg, será de 13,02%.

Já para o CUC de 70%, a redução da receita bruta, do preço do produto mais alto até o mais baixo, cai para 12,04%. Para este valor de CUC, o valor máximo da receita bruta (R\$ 2383,30/ha) cai para o valor de R\$1283,31/ha, para os preços do produto reduzindo de R\$3,25/kg a R\$1,75/kg, respectivamente, correspondendo uma redução de R\$1099,98/ha.

Utilizando a área total irrigada pelo pivô central (120,3 ha), podem ser estimados os valores de receita bruta apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de receita bruta máxima para os 120,3 ha irrigados nos diferentes CUC's em cada um dos preços do produto

Preço do produto R\$/kg	Receita bruta máxima para a área total do pivô (R\$)		
	CUC = 100%	CUC = 88,2%	CUC = 70%
3,25	1.098.928,47	930.099,45	286.710,99
3,00	1.014.396,07	858.553,43	264.656,39
2,75	929.862,46	787.007,41	242.600,59
2,50	845.330,06	715.461,39	220.545,99
2,25	760.796,45	643.915,37	198.491,39
2,00	676.264,04	572.369,36	176.436,79
1,75	591.730,44	500.823,34	154.382,19

Ao comparar os valores totais da receita bruta (Tabela 2) para o mesmo preço do produto, mas variando o CUC de 100% para 88,2%, pode-se observar que para o valor de R\$3,25/kg, a receita bruta tem uma redução de 15,36%, isto é, de R\$168.829,02 no total da área irrigada pelo pivô. Se o CUC abaixa para 70%, a redução atinge a porcentagem de 73,91%, significando uma redução de R\$812.217,48.

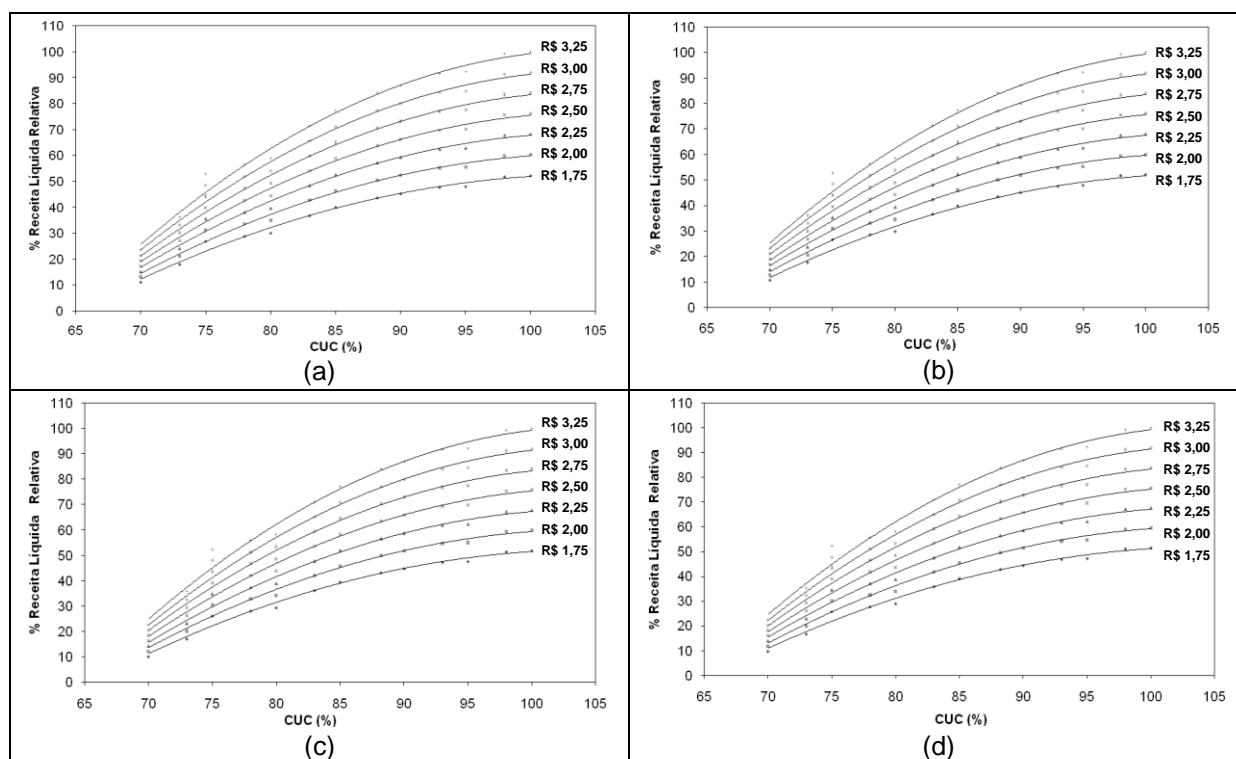
Para o preço de R\$2,50/kg a redução da receita bruta, com o CUC passando de 100% para 88,2%, é de 11,82%, representando uma redução de R\$129.868,66 no valor da receita bruta total. Da mesma forma, com o CUC passando de 100% para 70%, tem-se uma redução de 56,85% ou R\$624.784,07 na receita bruta.

Já para o menor preço do produto (R\$1,75/kg), as reduções da receita bruta, passando do CUC de 100% para 88,2% e 70%, são 8,27% (R\$90.907,10) e 39,80% (R\$437.348,24), respectivamente.

4.3 Influência da uniformidade de distribuição de água e do custo da água sobre a receita líquida para irrigação total

Na determinação da receita líquida foram avaliados cinco preços da água, apresentados nas Figuras 6 e 7, para as duas épocas do ano, períodos úmido e seco.

Nas Figuras 6a a 6f são apresentadas as receitas líquidas em função dos CUC's, para diferentes preços do produto e para os seis custos por consumo de água, sendo: (a) sem custo da água, (b) R\$0,01/m³, (c) R\$0,02/m³, (d) R\$0,03/m³, (e) R\$0,04/m³ e (f) R\$0,05/m³. Na Figura 6(a) as receitas líquidas foram obtidas com dispêndios causados somente pelo custo anual de bombeamento (consumo de energia), correspondendo a uma redução na receita líquida de R\$302,86/ha que é o custo unicamente por consumo de energia para o período seco. Por exemplo, para o preço do produto de R\$3,25/kg e no CUC = 90%, a receita líquida atinge o valor de R\$8832,04/ha.



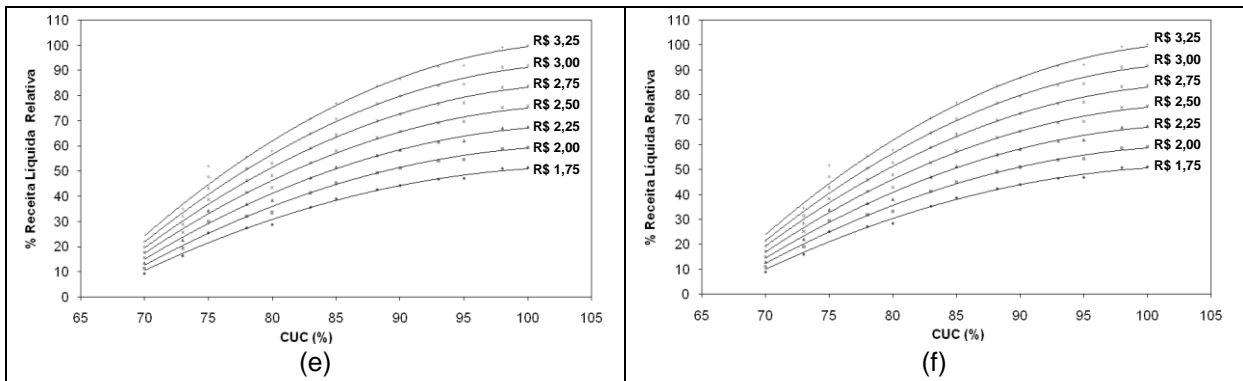


Figura 6 – Receita líquida relativa (%) em função do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), no período seco, para seis preços da água

Ao aumentar o valor da água de zero para $R\$0,02/m^3$ (Figura 6c) o valor da receita líquida, para o $CUC = 70\%$, reduziu-se em 0,90% para o preço do feijão de $R\$1,75/ha$, com relação ao valor da receita líquida quando não se tem custo por consumo da água. Em relação ao valor da receita líquida quando o custo da água é de $R\$0,01/m^3$ a redução da receita líquida foi 0,45%. Para o maior preço do feijão ($R\$3,25/ha$), a redução da receita líquida é menor, sendo 0,49% mais baixa no mesmo CUC de 70%, em relação à receita líquida quando não se tem custo por consumo de água. Em todos os casos, observa-se a redução da receita líquida com o aumento do custo da água por consumo, em todos os CUC 's. Entretanto, o efeito do preço da água sobre a receita líquida é relativamente menor para maiores preços do produto e maiores CUC 's.

Quando o CUC é igual a 90%, ao aumentar o custo da água de zero para $R\$0,02/m^3$ (Figura 6c), com preço do feijão de $R\$1,75/ha$, o valor da receita líquida reduz em 0,56%, significando uma redução de $R\$88,89/ha$, o que para o total da área irrigada atinge o valor de $R\$101693/ha$. Já para o mesmo CUC (90%), mas para o preço do produto de $R\$2,50/ha$, ao aumentar o custo da água de zero para $R\$0,02/m^3$, a receita reduziu-se em 0,34%, sendo por tanto, que a receita líquida tem uma redução menor pelo incremento no preço do produto, o que gera um ingresso maior mantendo-se o custo por consumo de energia, já que não se incrementa o tempo de irrigação unicamente a uniformidade de aplicação da água, por conseguinte, a receita líquida vai ser maior.

Na Figura 6(f), onde se observa a variação da receita líquida em função do CUC para o maior custo por consumo de água (R\$ 0,05/m³), a redução máxima da receita líquida, em relação a quando não se tem custo por consumo da água, atinge o valor de 2,29% para o CUC de 70%. Para o CUC = 90%, para os cinco preços do produto, a redução da receita líquida em relação a quando não se tem custo por consumo de água, é de 1,41% (R\$1,75/ha), 1,23% (R\$2,00/ha), 1,05% (R\$2,25/ha), 0,87% (R\$2,50/ha), 0,69% (R\$2,75/ha), 0,51% (R\$3,00/ha) e 0,33% (R\$3,25/ha), significando que a receita líquida, mantendo-se os custos por consumo de energia e por consumo da água, será mais afetada quando o custo do produto é menor.

Para o período úmido, cujos resultados estão apresentados nas Figuras 7(a) a 7(f), a influência do custo da energia sobre a receita líquida é menor quando comparado com o período seco, sendo isto causado pelo menor custo da energia neste período do ano, e por ser no período úmido, tem-se uma redução no número de irrigações, mas neste caso todos os custos avaliados são para irrigação total, portanto, os custos são unicamente causados pelo menor custo da energia que se tem por ser período úmido. Desse modo, o valor da receita líquida para CUC = 70% (Figura 7a), varia de R\$ 8848,79/ha a R\$ 4632,68/ha (redução de 47,65%) para preços de produto variando de R\$ 3,25/kg a R\$ 1,75/kg.

No CUC = 90%, quando não se tem custo por consumo de água (Figura 7a), a receita líquida, para o preço do produto de R\$2,50/kg, tem uma redução de 48,78% em relação ao preço de R\$1,75/kg no mesmo valor de CUC, significando uma redução de R\$4316,21/ha ou R\$519240,6 para o total da área irrigada, se este valor é comparado com o período seco, no qual a redução, nas mesmas condições anteriormente mencionadas, é de 48,87%.

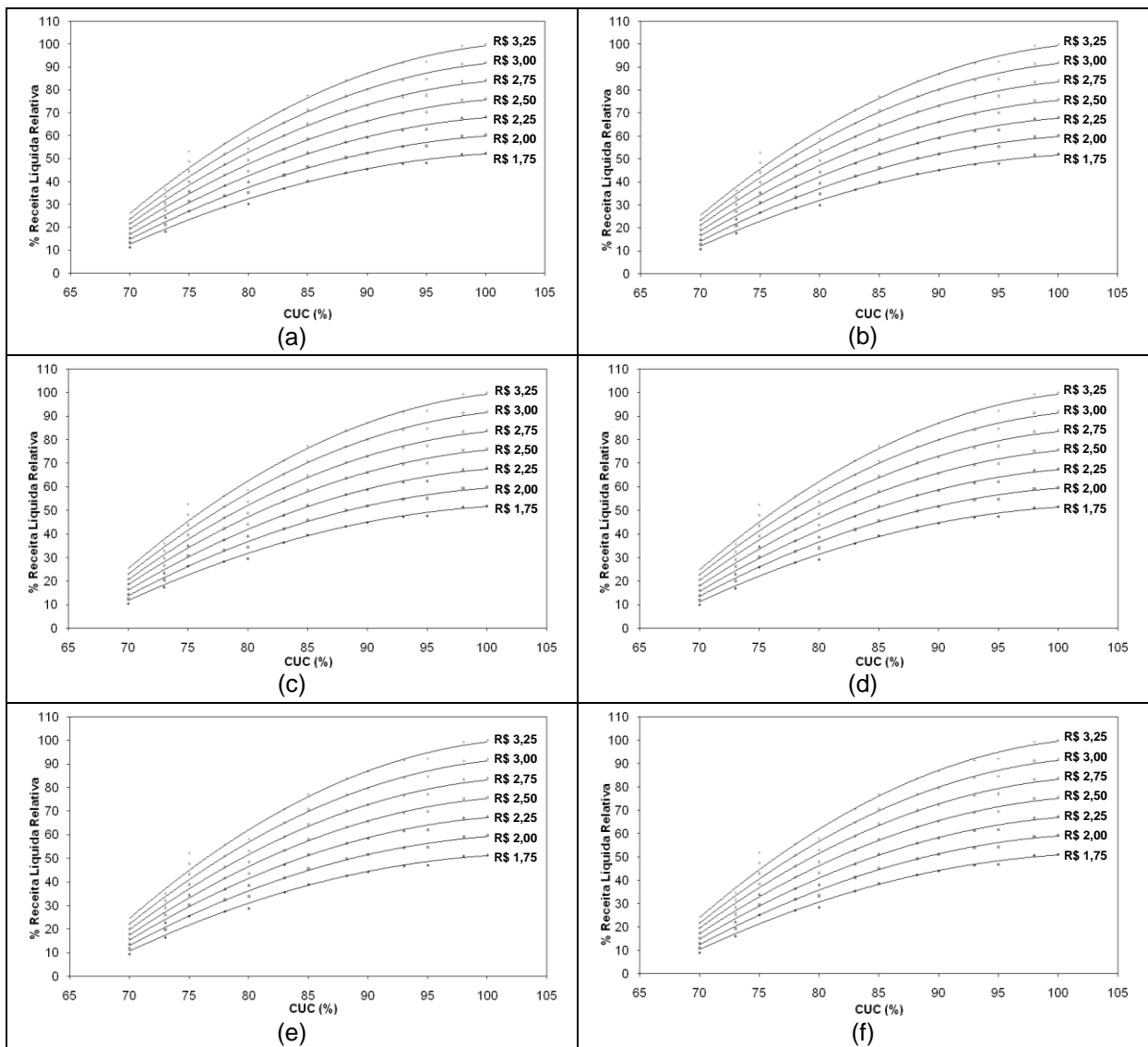


Figura 7 – Receita líquida relativa (%) em função do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), no período úmido, para seis preços da água

No período úmido, a receita líquida atinge valores maiores do que aqueles obtidos no período seco. Para o custo da água de R\$0,02/m³ a receita líquida no período úmido é 1,85% maior que para o período seco, no mesmo valor de CUC (70%) e o mesmo preço do produto (1,75 R\$/ha), já para o CUC = 90% a receita líquida é maior num 0,43% no mesmo preço de produto e custo por consumo da água.

Se há tendências para a limitação da quantidade de água disponível para irrigar uma cultura, pode ser recomendável modificar os critérios uniformidade de distribuição de água pelos sistemas de irrigação (VON BERNUTH, 1983). Predeterminando um coeficiente de uniformidade mínimo pode não conseguir resultados ótimos no em

termos de desenvolvimento da cultura e de rendimentos culturais, porém, o valor do coeficiente de uniformidade a ser utilizado pelo sistema de irrigação vai depender das condições locais e dos preços do produto.

Von Bernuth (1983) mostrou mediante um exemplo que quando a água é um fator limitante o coeficiente de uniformidade ótimo econômico pode ser menor que o coeficiente de uniformidade utilizado tradicionalmente (por exemplo, mínimo de 80%) como ótimo para a produtividade das culturas. O mesmo autor relata que se a produção varia linearmente com a aplicação de água, ela depende unicamente da lâmina média de água aplicada e não da uniformidade de aplicação. Isto é, se uma fração da área irrigada recebeu uma quantidade de água menor que a média, a outra fração da área, do mesmo tamanho, receberá uma quantidade maior de água, tanto quanto foi deixado de receber a outra fração da área, não afetando a produção total e sendo esta só afetada pela lâmina média de água aplicada.

Neste trabalho, a função de produção do feijoeiro utilizada foi do tipo quadrática, obtida por Saad (1996). Sendo assim, a produção em cada área que recebe uma quantidade de água inferior à lâmina média aplicada será inferior à produção média da cultura e, da mesma forma, a outra fração da área que recebe uma quantidade de água superior à média produzirá uma quantidade maior, mas não igual ao déficit de produção da área menos irrigada. Portanto, quando a função de produção é quadrática, a produção depende tanto da lâmina média aplicada como da uniformidade de aplicação de água (VON BERNUTH, 1983).

4.4 Influência da uniformidade de distribuição de água e do custo da água sobre a receita líquida para irrigação suplementar

Para simular irrigações suplementares foram avaliadas duas alternativas: uma considerando que 75% da água requerida pela cultura, estimada pela função de produção, seria aplicada por irrigação, e 25% seria a contribuição da chuva; outra, considerando que 50% da água requerida foi aplicada por irrigação e 50% foi contribuição pela chuva, reduzindo assim os custos por energia e por consumo de água.

Nas Figuras 8 e 9 são apresentadas as simulações para 75% da água requerida pela cultura como água de irrigação, nos períodos seco e úmido, observando-se redução dos custos operacionais e aumento da receita líquida. Nas Figuras 10 e 11 são apresentadas as simulações para 50% da água requerida pela cultura sendo proveniente da irrigação, nos períodos seco e úmido, apresentando, também, diminuição dos custos operacionais e aumento da receita líquida.

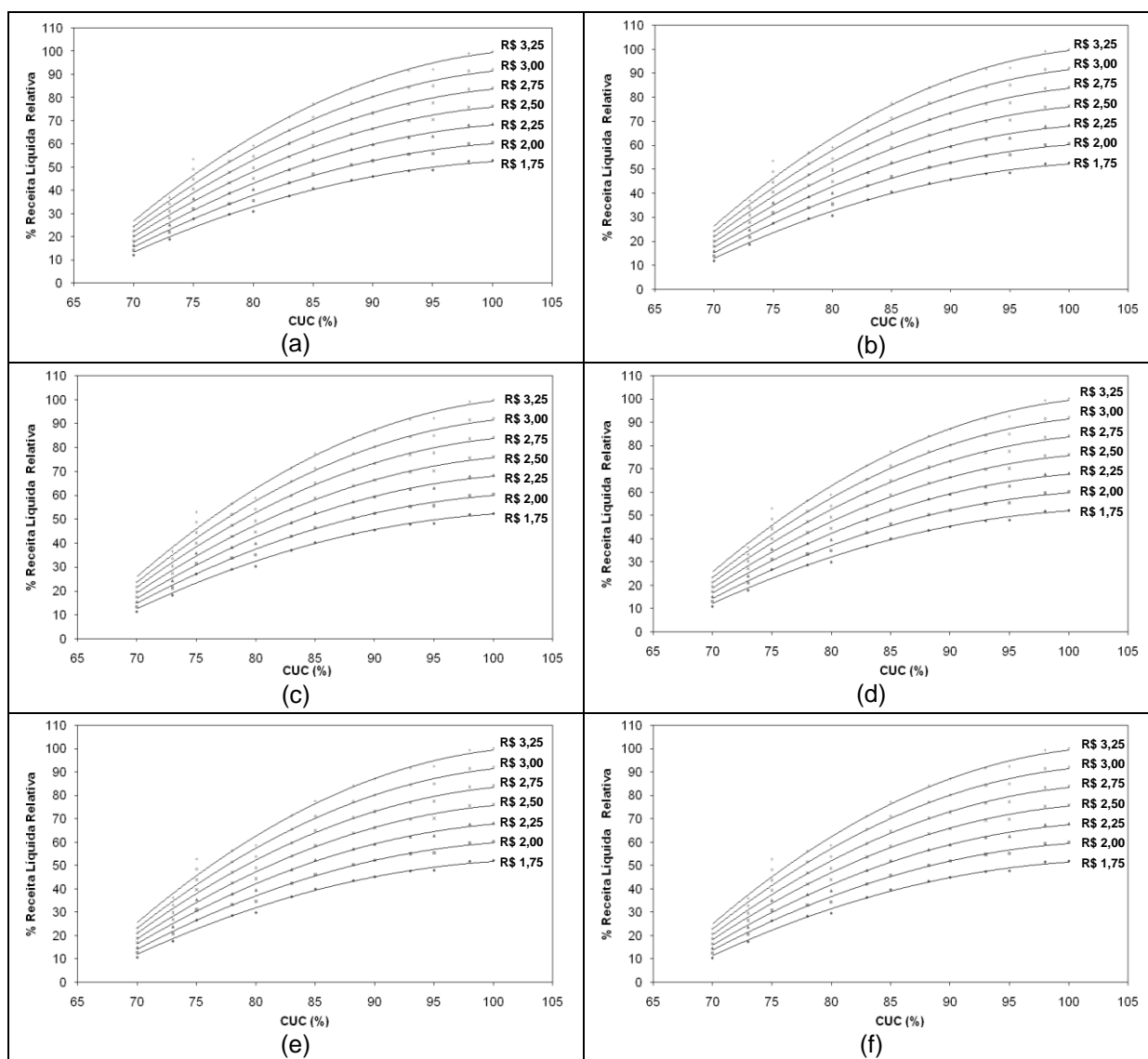


Figura 8 – Receita líquida relativa (%) em função do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), no período seco para seis preços da água, com irrigação suplementar de 75%

Na Tabela 3 apresenta-se um resumo das receitas líquidas, obtidas com irrigação suplementar de 75%, para três CUC's no período seco e com custo por consumo da

água igual a R\$0,02/m³ (Figura 8c). Observa, para CUC = 95%, que se consegue uma receita líquida maior em 2,88%, com o preço do feijão de R\$1,75/ha, ao se comparar, nas mesmas condições de CUC e preço do produto, com irrigação total, representando um aumento na receita líquida em R\$119,86/ha, e no total da área irrigada de R\$14419,68

Tabela 3 – Valores de receita líquida para diferentes CUC's em cada um dos preços do produto avaliado, para irrigação suplementar de 75% no período seco e com custo por consumo da água de 0,02/m³

Preço do produto R\$/kg	Receita líquida máxima (R\$/ha)		
	CUC = 95%	CUC = 88,2%	CUC = 70%
3,25	8179,69	7459,61	2111,41
3,00	7529,57	6864,88	1928,07
2,75	6879,45	6270,15	1744,74
2,50	6229,32	5675,42	1561,41
2,25	5579,20	5080,69	1378,08
2,00	4929,08	4485,96	1194,75
1,75	4278,96	3891,23	1011,42

Fazendo a mesma comparação para receita líquida obtida com irrigação total, mas tendo como base o CUC de 88,2%, o aumento na receita líquida, para quando à irrigação suplementar é de 75%, atinge o valor porcentual de 3,17, e para o CUC de 70%, esse valor chega a 13,44%, significando que a receita líquida tem uma variação maior para valores de CUC's mais baixos ao ser comparada com a irrigação total, resultando, portanto maior retorno econômico ao irrigante

Quando a comparação é feita com base num mesmo preço do produto (R\$2,50/kg), para os CUC's de 95%, 88,2% e 70%, as receitas líquidas resultantes da irrigação suplementar de 75% em relação à irrigação total, tem aumentos de 1,96%, 2,16% e 8,31%, respectivamente.

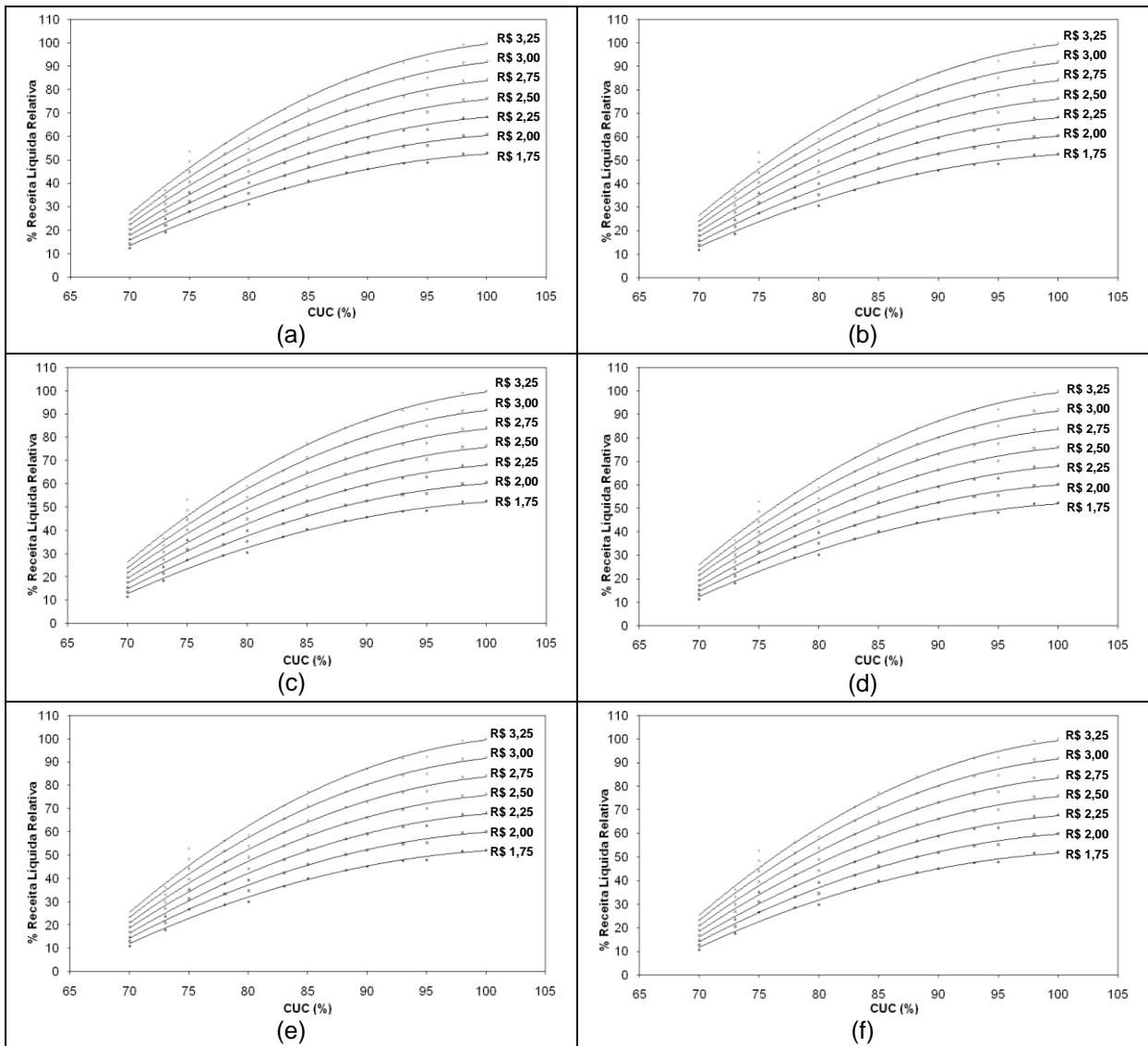


Figura 9 – Receita líquida relativa (%) em função do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), no período úmido, para seis preços da água, com irrigação suplementar de 75%

Pelo exposto na Tabela 4, receitas líquidas para três valores de CUC com custo por consumo da água de $0,02/m^3$ (Figura 9c), verifica-se que as receitas líquidas obtidas para o período úmido com irrigação suplementar de 75%, em relação ao período úmido com irrigação total, são menores, como resultado da menor quantidade de água aplicada por irrigação e do menor custo da energia para o período úmido.

Tabela 4 – Valores de receita líquida para diferentes CUC's em cada um dos preços do produto avaliado, para irrigação suplementar de 75% no período úmido e com custo por consumo da água de 0,02/m³

Preço do produto R\$/kg	Receita líquida máxima (R\$/ha)		
	CUC = 95%	CUC = 88,2%	CUC = 70%
3,25	8190,86	7470,78	2122,57
3,00	7540,74	6876,05	1939,24
2,75	6890,61	6281,32	1755,91
2,50	6240,49	5686,59	1572,58
2,25	5590,37	5091,86	1389,25
2,00	4940,25	4497,13	1205,92
1,75	4290,13	3902,40	1022,59

Com base nos resultados apresentados na Tabela 4, observa-se que o valor da receita líquida no CUC = 95% é 0,14% maior em relação ao período seco no mesmo preço do produto (R\$3,25/kg). Já para o CUC = 88,2%, nas mesmas condições anteriormente comparadas, seria possível uma receita líquida 0,15% maior e, para o CUC = 70%, seria 0,53%, o que significa, para os três CUC's (95%, 88,2% e 70%) um aumento de R\$1347,75 no total da área irrigada. Este valor aumenta para R\$13747,89 em relação a receita líquida obtida com irrigação e total.

Quando a irrigação suplementar é de 50% dos requerimentos da cultura, é possível ter uma maior redução dos custos por consumo de energia e de água. Na Figura 10 são apresentadas as simulações da receita líquida relativa para os 6 preços por consumo da água, (a) sem custo por consumo da água, (b) R\$0,01/m³, (c) R\$0,02/m³, (d) R\$0,03/m³, (e) R\$0,04/m³ e (f) R\$0,05/m³.

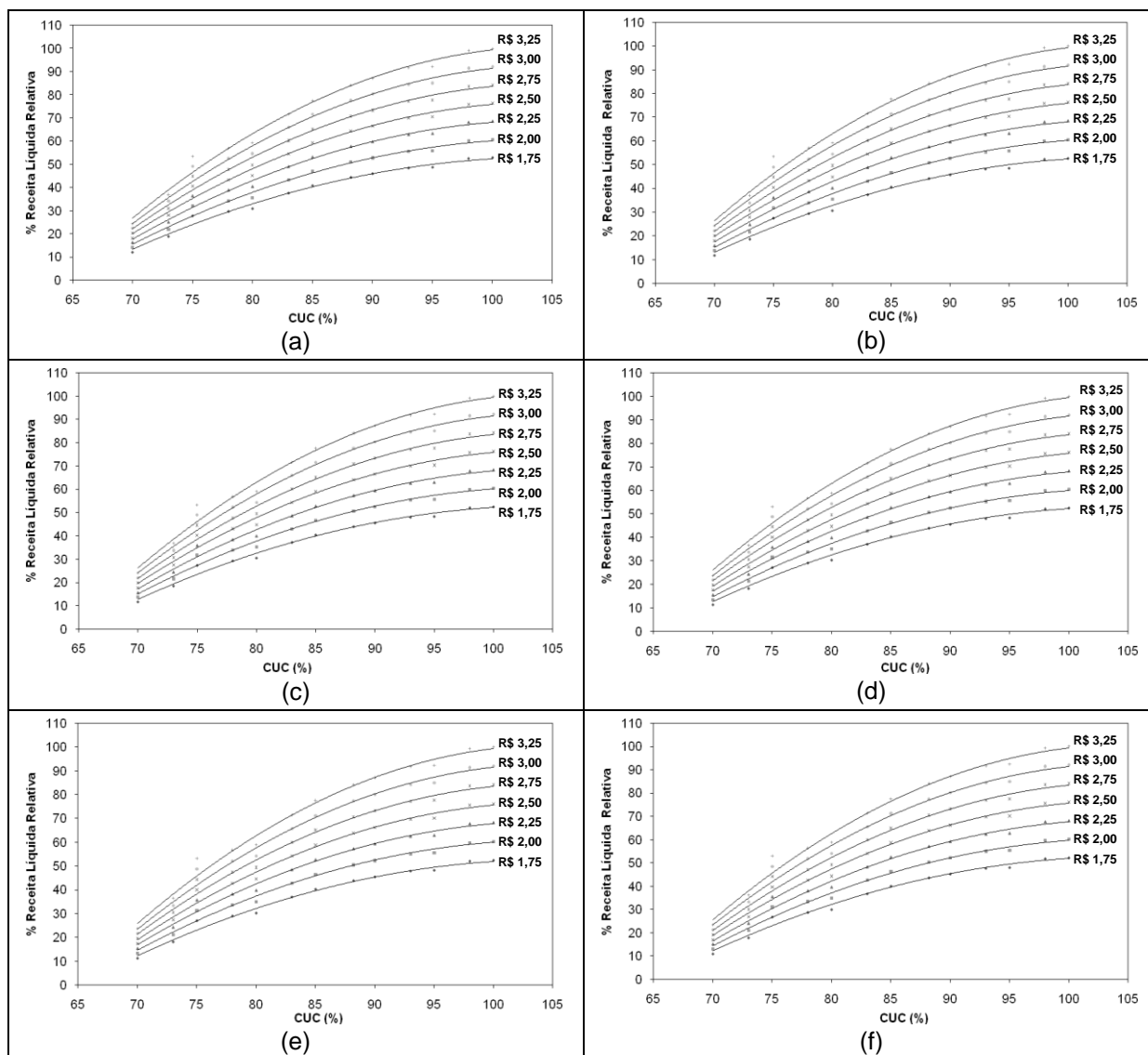


Figura 10 – Receita líquida relativa (%) em função do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), no período seco para seis preços da água, com irrigação suplementar de 50%

Na Tabela 5 são apresentadas as receitas líquidas para três valores de CUC (95%, 88,2% e 70%) e para os cinco preços do produto, no período seco do ano, com irrigação suplementar de 50%. Para esta simulação a receita líquida aumenta, para o CUC de 95%, preço do produto de R\$2,50/kg e custo por consumo de água de $0,02/m^3$, em 2,27% em relação à irrigação total, e em 0,36% relativamente à irrigação suplementar de 75%, significando economias de energia na irrigação de R\$17093,43 e R\$2674,27, respectivamente, para o total da área irrigada pelo pivô.

Tabela 5 – Valores de receitas líquidas para diferentes CUC's em cada um dos preços do produto analisados, para irrigação suplementar de 50% no período seco e com custo por consumo da água de 0,02/m³

Preço do produto R\$/kg	Receita líquida máxima (R\$/ha)		
	CUC = 95%	CUC = 88,2%	CUC = 70%
3,25	8201,91	7481,84	2133,63
3,00	7551,79	6887,11	1950,30
2,75	6901,67	6292,37	1766,97
2,50	6251,55	5697,64	1583,64
2,25	5601,43	5102,91	1400,31
2,00	4951,30	4508,18	1216,98
1,75	4301,18	3913,45	1033,65

Já para CUC = 88,2%, tendo como base o preço do produto de R\$2,50/kg e com custo por consumo da água de 0,02/m³, a receita líquida é aumentada de 2,49% em relação à obtida com irrigação total, e de 0,39% quando em relação à irrigação suplementar de 75%, significando uma economia de energia na irrigação de R\$17092,23 e R\$2673,07, respectivamente, para o total da área irrigada pelo pivô.

Quando a comparação é feita para o CUC de 70% a receita líquida aumenta em 8,97% em relação à obtida na irrigação total, e de 1,40% em relação à irrigação suplementar de 75%, significando uma economia por energia na irrigação de R\$17093,04 e R\$2673,36, respectivamente, para o total da área irrigada pelo pivô.

Na Figura 11, são apresentadas as simulações das receitas líquidas para irrigação suplementar de 50%, no período úmido, para diferentes CUC's e preços do produto, para os 6 preços por consumo da água: (a) sem custo por consumo da água, (b) R\$0,01/m³, (c) R\$0,02/m³, (d) R\$0,03/m³, (e) R\$0,04/m³ e (f) R\$0,05/m³.

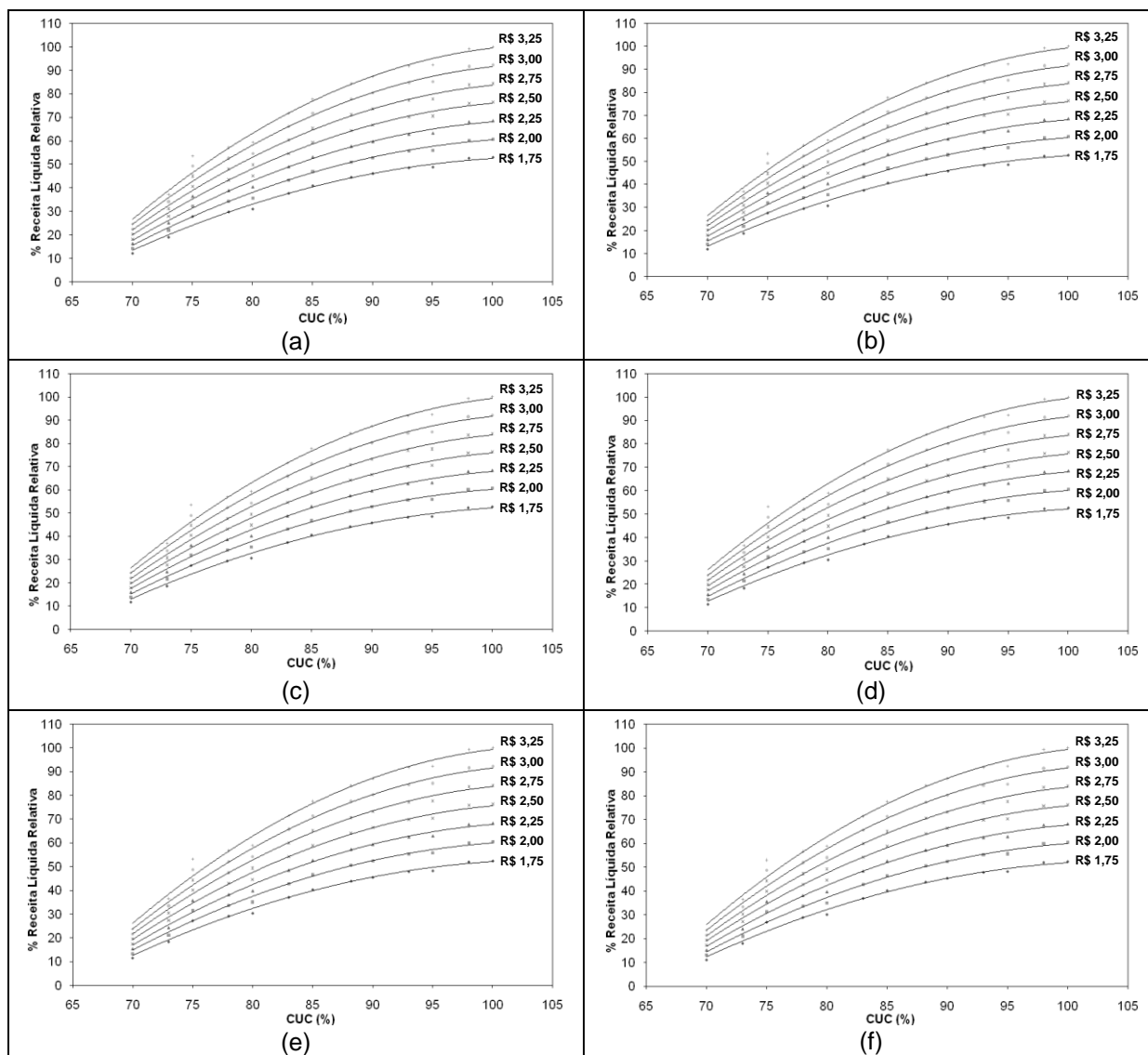


Figura 11 – Receita líquida relativa (%) em função do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), no período úmido para seis preços da água, com irrigação suplementar de 50%

Com base nos dados apresentados na Tabela 6 (valores da receita líquida para irrigação suplementar de 50% no período úmido para tres CUC's e os sete preços do produto), observa-se que são obtidos os maiores valores para as receitas líquidas. Isto decorre do menor custo da energia no período úmido e do menor consumo de água na irrigação suplementar de 50%. Ao ser comparada a receita líquida obtida com CUC de 95%, preço do produto de R\$2,50/kg e custo por consumo da água $0,02/m^3$, com a receita líquida para irrigação total, verifica-se um aumento de 2,18% em favor da irrigação suplementar de 50% e de 0,35% em relação à irrigação suplementar de 75%.

Tabela 6 – Valores de receita líquida para diferentes CUC's em cada um dos preços do produto avaliado, para irrigação suplementar de 50% no período úmido e com custo por consumo da água de 0,02/m³

Preço do produto R\$/kg	Receita líquida máxima (R\$/ha)		
	CUC = 95%	CUC = 88,2%	CUC = 70%
3,25	8213,08	7493,00	2144,80
3,00	7562,96	6898,27	1961,47
2,75	6912,84	6303,54	1778,14
2,50	6262,71	5708,81	1594,80
2,25	5612,59	5114,08	1411,47
2,00	4962,47	4519,35	1228,14
1,75	4312,35	3924,62	1044,81

No período úmido, para o CUC = 88,2%, a receita líquida com irrigação suplementar de 50% é maior em 2,39% em relação à irrigação total e, 0,39% em relação à irrigação suplementar de 75%. Já para CUC = 70%, a irrigação suplementar de 50% proporciona um aumento de 8,56% na receita líquida em relação à irrigação total e de 1,37% em relação à irrigação suplementar de 75%, sendo que os menores CUC's são mais sensíveis aos custos associados ao consumo de energia, significando por isto, que no período úmido do ano e com CUC baixo a variação da receita líquida é menor.

5 CONCLUSÕES

Considerando-se os dados obtidos nas simulações e as análises realizadas, considerando-se o coeficiente de uniformidade, o preço do produto e os custos por consumo de energia e água, pode se concluir que:

- A receita bruta proporcionada pelo cultivo do feijoeiro cresce com o aumento da uniformidade de distribuição de água uma vez que se obtêm maiores rendimentos de grãos. Para menores valores de CUC o preço do produto exerce menor influência sobre a receita bruta
- A influência da uniformidade de distribuição de água e do custo da água sobre a receita líquida é significativamente maior para os CUC's menores; da mesma forma, a receita líquida será mais afetada quando o custo do produto é menor, mantendo-se os custos por consumo de energia e por consumo da água.
- Quando a irrigação é suplementar a receita líquida tem uma variação maior para valores de CUC's mais baixos, relativamente à irrigação total, resultando maior retorno econômico ao irrigante.
- A variação nos benefícios econômicos, decorrentes da irrigação por pivô central na cultura do feijoeiro, considerando as produtividades alcançadas, simulando as lâminas de água aplicadas e mantendo-se a lâmina média, com diferentes uniformidades de distribuição de água e gastos com energia, são maiores quando a uniformidade de distribuição é maior, assim como aumenta quando o preço do produto aumenta.
- Quanto maior o coeficiente de uniformidade de distribuição de água, o consumo de energia necessário para satisfazer os requerimentos de água da cultura, representa uma porcentagem menor na redução da receita líquida total obtida.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G. Applicator Selection along Center Pivots using Soil Infiltration Parameters. Visions of the future. In: NATIONAL IRRIGATION SYMPOSIUM, 3., 1990. Phoenix. **Proceedings ...**. Phoenix: ASAE , 1990. p. 549-555.
- ASSIS, L.L. de. **Avaliação de sistema de irrigação por pivô central de baixa pressão**. 1990. 93p. Dissertação de (Mestrado na área de Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1990.
- BERNADO, D.; The effect of spatial variability of irrigation applications on risk efficient irrigation strategies. **Southern Journal of Agricultural Economic**, Connecticut, v.20, p 77–86,1988.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MONTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 657p.
- BRASIL, Agência Nacional De Energia Elétrica – ANEEL, resolução N.º 456, de 29 de novembro de 2000, **Publicado no Diário Oficial**, 30 nov.2000, seção 1, p. 35, v. 138, n. 230-E. Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica.
- BREMOND, B.; MOLLE, B. characterization of rainfall under pivot: influence of measuring procedure. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.121, n.5, p. 347-353, 1995.
- BRENNAN, D.; T CALDER,. **The economics of sprinkler irrigation uniformity**: A case study of lettuce on the Swan Coastal plain, CSIRO: Water for a Healthy Country National Research Flagship. 2006. p33.
- BONOMO, R.; MANTOVANI, E.C.; CAIXETA, G.Z.T. Comparação de custos para diferentes sistemas de irrigação empregados na cafeicultura irrigada em áreas de cerrado de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28, 1999. Pelotas, **Anais...** Pelotas: UFPel, 1999. 1 CD-ROM.
- CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of California, 1942. 124p. (Bulletin, 670)
- DENÍCULI, W.; ITABORAHY, C.R.; LOUREIRO, B.T.; RAMOS, M.M. Uniformidade de aplicação de água em sistema de irrigação por aspersão com deslocamento contínuo equipado com tubos de descida flexíveis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1993. Ilhéus. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 1993. p.2787-2801
- DOURADO NETO, D.; JONG VAN LIER, Q. de; FRIZZONE, J.A. Determinação da lâmina média de irrigação em pivô central. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.51, n.1, p.188-190, jan./abril. 1994.
- DUKE, H.R.; HEERMANN, D.F.; DAWSON, L.J. Appropriate depths of applications for scheduling center pivot irrigations. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.35, n.5, p.1457-1467, 1992.

- EDLING, R.J. Variation of center pivot operation with field slope. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.22, n.5, p.1039-1043, 1979.
- FEINERMAN, E.; SHANI Y.; BRESLER E.; Economic optimization of sprinkler irrigation considering uncertainty of spatial water distribution. **Australian Journal Agricultural Economics**, Melbourne, v 3, p.88–107, 1989
- FRIZZONE, J.A.; DOURADO NETO, D. Avaliação de sistemas de irrigação. In: MIRANDA, J.M. DE ; PIRES, R.C. DE M (Org.). **Irrigação**. Jaboticabal: FUNEP, v. 2, p. 573-651, 2003.
- FRIZZONE, J.A. ANDRADE. A.S. de; SOUZA, J.L. de; ZOCOLER, J.L.; Análise de projetos de irrigação e drenagem. In: **Planejamento de Irrigação: análise de decisão de investimentos**, Embrapa Informação Tecnológica, p17-53, 2005.
- HEERMANN, D.F.; HEIN, P.R. Performance characteristics of self-propelled center-pivot sprinkler irrigation system. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 11, n. 1, p.11-15, 1968.
- HEINEMANN, A.B.; FRIZZONE, J.A. Custo da melhora da uniformidade de distribuição de água por um pivô central vs. economia de energia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24, 1995, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SBEA, 1995. p.189.
- HANSON, B.R.; LANCASTER, D.L. Some causes of nonuniformity are correctable. **California Agriculture**, Berkeley, v. 50, n. 5/6, p.24-26, 1986.
- HEINEMANN. A.B.; FRIZZONE. J.A.; PINTO. J.M.; FEITOSA. J.C. Influência da altura do emissor na uniformidade de distribuição da água de um sistema pivô central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 9, p. 1487–1493, set 1998.
- IDE, M.R. **Perfil da taxa de aplicação de água de duas instalações com pivô central**. 1989, 80p. Dissertação (Mestrado na área de Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.
- JAMES, L.G.; BLAIR, S.K. Performance of low pressure center-pivot systems. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.27, n.6, p.1753-1757, 1984.
- KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkler and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652p.
- KRUSE, E.G. Describing irrigation efficiency and uniformity. **Journal Irrigation**. Drainage Division. ASCE, New York, v.104, n.IR1, p.35-41, 1978.
- LETEY, J.; VAUX, H.J.; FEINERMAN, E. Optimum crop water application as affected by uniformity of water infiltration. **Agronomy Journal**, Madison, v.76, n.3, p.435-441, 1984.
- MAREK, T.U.; UNDERSANDER, D.J.; EBELING, L.L.; An areal weighted uniformity coefficient for center pivot irrigations systems. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.29, n.6, p.1665-1667, 1986.

MARQUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. **Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças**. Brasília: EMBRAPA, 1998. 16p. (Circular Técnica da EMBRAPA Hortaliças, 11).

MARQUES, P.A. **Modelo computacional para determinação do risco econômico em culturas irrigadas**. 2005, 142 p. Tese (Doutorado na área de Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

MIRANDA, F.R. de; RAMOS, M.M.; DENÍCULI, W.; SOARES, A.A. Uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação, do tipo linear e de baixa pressão, em função da altura de instalação e do tipo de placa defletora. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23., 1994, Campinas. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 1994. p.119.

MELO, J.L; **Custo da irrigação por aspersão em Minas Gerais**. 147f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 1993.

MONTERO-MARTINEZ, J.; MARTINEZ, R.; MARTIN-BENITO J.; Analysis of water application cost with permanent set sprinkler irrigation systems. **Irrigation Science**, Berlín, v.23, p.103–110, 2004.

PÉREZ, L.R.; ALFONSO, G.E.J.; CÁRDENAS, L.J.F.; LÓPEZ, C.G.; ALEMÁN, G.C. Un estudio de la evaluación de la aplicación del riego en sistemas por pivote central. **Ingeniería Hidráulica en México**, México, v. 18, n. 3, p. 45-53, 2003.

PÉREZ, L.R. Y MARTÍNEZ, G.Y. Simplificación y Adecuación del Método de Allen para determinar el caudal de diseño de los pivotes para el riego del cultivo de la papa. **Ingeniería Hidráulica en México**, México, v. 19, n. 2, p.89-100, 2004.

PINHEIRO, V.D.; COELHO, R.D.; LOURENÇO, L.F.; Variabilidade econômica da irrigação de pastagem de capim Tanzânia em diferentes regiões do Brasil. In: SIMPOSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 19., 2002. Piracicaba. **Inovações tecnológicas do manejo de pastagens**. Piracicaba: FEALQ, 2002. p.159-188.

SAAD, A. **O déficit de irrigação como estratégia de manejo da água em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 1996. 91p. Tese (Doutorado na área de Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

SCALOPPI, E.J. Exigências de energia para irrigação. **ITEM: Irrigação & Tecnologia Moderna**. n. 21, p.13-17, 1985

SEGINER, I. A note on the economic significance of uniform water application. **Irrigation Science**, Haifa, v.1, n.1, p19-25, 1978.

SEGINER, I. **Spatial water distribution in sprinkler irrigation**. In: HILLEL, D.. **Advances in irrigation**, Orlando, v 4. p.119-164, 1987.

SILVA, A.L.; FARIA, M.A.; REIS, R.P. Viabilidade técnico econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, cidade, v.7, n.1, p.34-74, 2003.

SOUZA, J.L. **Modelo para análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para a cultura do cafeeiro**. 2001. 40p. Tese (Doutorado na área de Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SOLOMON, K.H. Yield related interpretations of irrigations uniformity and efficiency measures. **Irrigation Science**. California, v.5 n.3, p161-172, 1984.

TARJUELO, J.M.; De JUAN, J.A.; VALIENTE, M.; GARCIA, P. Model for optimal cropping patterns within the farm based on crop water production functions and irrigation uniformity. II: A case study of irrigation scheduling in Albacete, Spain. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.31, n.1/2, p.145-163, 1996.

TURRA, F.E. **Análise de diferentes métodos de cálculo de custos de produção na agricultura brasileira**. 1990. 134p. Dissertação (Mestrado na área de Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

VON BERNUTH, R.D. Uniformity design criteria under limited water. **Transactions of the ASAE**, Miami. v.26, n.5, p.1418-1421, 1983.

WOOD, M.; WANG Q.J.; BETHUNE M. An economic analysis of conversion from border-check to centre pivot irrigation on dairy farms in the Murray Dairy Region, Australia. **Irrigation Science**. v.26, n.1, p.9–20, 2007.

ZOCOLER, J.L. **Modelo para dimensionamento econômico de sistemas de recalque em projetos hidroagrícolas**. 1998. 107p Tese (Doutorado na área de Irrigação Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

ZOCOLER, J.L. Análise econômica de sistemas de irrigação. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. **Irrigação**. Jaboticabal: Funep, 2003. p.653-703. (Série Engenharia Agrícola, 2)

APÊNDICE

Apêndice A - Dados do teste de avaliação da aplicação da água pelo pivô

VÃO ENTRE TORRES	N° DE ORDEM DO COLETOR	VOLUME COLETADO NOS PLUVIOMETROS (ml)		MÉDIA DOS DOIS PLUVIOMETROS (mm) Xi	Distância do Coletor ao Pivô (m) Ri
		R ₁	R ₂		
1	1	0,0	0,0	0,0	2,75
1	2	19	23	4,0	8,3
1	3	38	35	6,9	13,8
1	4	52	46	9,3	19,3
1	5	37	51	8,3	24,8
1	6	37	42	7,5	30,3
1	7	57	36	8,8	35,8
1	8	47	34	7,7	41,3
2	9	50	36	8,1	46,8
2	10	43	32	7,1	52,3
2	11	34	20	5,1	57,8
2	12	41	23	6,1	63,3
2	13	56	34	8,5	68,8
2	14	57	38	9,0	74,3
2	15	53	32	8,1	79,8
2	16	57	30	8,2	85,3
2	17	59	49	10,2	90,8
3	18	57	44	9,6	96,3
3	19	51	43	8,9	101,8
3	20	78	34	10,6	107,3
3	21	37	31	6,4	112,8
3	22	52	42	8,9	118,3
3	23	51	40	8,6	123,8
3	24	58	42	9,5	129,3
3	25	47	45	8,7	134,8
4	26	57	55	10,6	140,3
4	27	58	47	9,9	145,8
4	28	53	42	9,0	151,3
4	29	51	48	9,4	156,8
4	30	49	48	9,2	162,3
4	31	65	60	11,8	167,8
4	32	49	50	9,4	173,3
4	33	52	61	10,7	178,8
5	35	44	54	9,3	189,8
5	36	46	47	8,8	195,3

VÃO ENTRE TORRES	Nº DE ORDEM DO COLETOR	VOLUME COLETADO NOS PLUVIOMETROS (ml)		MÉDIA DOS DOIS PLUVIOMETROS (mm) X_i	Distância do Coletor ao Pivô (m) R_i
		R_1	R_2		
5	37	53	59	10,6	200,8
5	38	57	58	10,9	206,3
5	39	52	58	10,4	211,8
5	40	65	59	11,7	217,3
5	41	61	57	11,2	222,8
5	42	61	69	12,3	228,3
6	43	58	58	11,0	233,8
6	44	54	73	12,0	239,3
6	45	52	55	10,1	244,8
6	46	49	60	10,3	250,3
6	47	45	57	9,7	255,8
6	48	50	60	10,4	261,3
6	49	60	58	11,2	266,8
6	50	61	70	12,4	272,3
6	51	61	68	12,2	277,8
7	52	64	64	12,1	283,3
7	53	50	57	10,1	288,8
7	54	46	62	10,2	294,3
7	55	57	58	10,9	299,8
7	56	52	59	10,5	305,3
7	57	61	73	12,7	310,8
7	58	48	67	10,9	316,3
7	59	57	61	11,2	321,8
8	60	64	77	13,4	327,3
8	61	52	84	12,9	332,8
8	62	61	80	13,4	338,3
8	63	46	56	9,7	343,8
8	64	50	50	9,5	349,3
8	65	50	66	11,0	354,8
8	66	56	70	11,9	360,3
8	67	54	72	11,9	365,8
9	68	54	74	12,1	371,3
9	70	56	56	10,6	382,3
9	71	56	55	10,5	387,8
9	72	64	68	12,5	393,3
9	73	52	62	10,8	398,8
9	74	58	69	12,0	404,3
9	75	57	62	11,3	409,8
9	76	54	56	10,4	415,3

VÃO ENTRE TORRES	Nº DE ORDEM DO COLETOR	VOLUME COLETADO NOS PLUVIOMETROS (ml)		MÉDIA DOS DOIS PLUVIOMETROS (mm) Xi	Distância do Coletor ao Pivô (m) Ri
		R ₁	R ₂		
10	77	58	62	11,4	420,8
10	78	60	54	10,8	426,3
10	79	52	53	9,9	431,8
10	80	54	52	10,0	437,3
10	81	49	52	9,6	442,8
10	82	42	44	8,1	448,3
10	83	51	52	9,8	453,8
10	84	38	48	8,1	459,3
11	85	48	39	8,2	464,8
11	86	48	50	9,3	470,3
11	87	50	55	9,9	475,8
11	88	52	68	11,4	481,3
11	89	48	48	9,1	486,8
11	90	49	49	9,3	492,3
11	91	44	47	8,6	497,8
11	92	34	56	8,5	503,3
11	93	52	55	10,1	508,8
12	94	49	52	9,6	514,3
12	95	51	61	10,6	519,8
12	96	32	48	7,6	525,3
12	97	47	48	9,0	530,8
12	98	42	35	7,3	536,3
12	99	35	51	8,1	541,8
12	100	55	47	9,7	547,3
13	101	66	64	12,3	552,8
13	102	57	61	11,2	558,3
13	103	46	63	10,3	563,8
13	104	51	56	10,1	569,3
13	105	49	52	9,6	574,8
13	106	50	49	9,4	580,3
13	107	52	57	10,3	585,8
13	108	51	54	9,9	591,3
Balanço	109	72	69	13,4	596,8
Balanço	110	71	67	13,1	602,3
Balanço	111	59	62	11,5	607,8
Balanço	112	76	60	12,9	613,3
Balanço	113	70	60	12,3	618,8
Balanço	114	0	22	2,1	624,3

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)