

CONSTRUÇÃO DE CURVA DE DEMANDA ECONÔMICA PARA O USO DA ÁGUA NA IRRIGAÇÃO: o caso da bacia do rio Preto.

Bruno Goulart de Freitas Machado¹ & Oscar de Moraes Cordeiro Netto²

RESUMO --- Este trabalho tem o intuito de construir procedimento metodológico para construção de curva de demanda econômica para o uso da água na irrigação agrícola. Para servir como caso de estudo, escolheu-se a bacia do rio Preto (DF/GO/MG) devido à alta incidência de pivôs-centrais nessa região, os quais podem ter suas áreas facilmente delimitadas por meio de técnicas de sensoriamento remoto. Informações econômicas sobre o calendário produtivo de grãos, principais culturas praticadas, custos e preços médios de mercado foram levantadas junto à empresa de fomento da atividade agrícola da região (EMATER/DF) e em banco de dados de instituições públicas oficiais. Ao final, foi possível construir duas curvas de demanda para a irrigação, as quais exprimem o benefício marginal de utilização da água nessa atividade econômica e, em última instância, contabilizam a renda incremental que um metro cúbico de água proporciona àqueles produtores que optam por investir na aquisição de um sistema de irrigação e incorporá-lo às suas respectivas cadeias produtivas de grãos.

ABSTRACT --- This study aims to propose methodological procedure for estimating economic curves for measuring marginal benefits associated to the irrigation water use. Hence, the rio Preto basin was chosen to serve as case study where this methodological approach was implemented due to a high presence of the central-pivots in that hydrographic region. These irrigation technologies can be simply delimited by remote sensing techniques. Economic information related to the irrigated crops' dynamic production, average costs and current market prices were evaluated from an official support agency responsible for enhancing agricultural activities in that region - EMATER/DF -, as well as statistics from government institutions. In the end, it was possible to construct two demand curves for irrigation in which both represent the incremental net income from the next cubic meter of water utilized on these irrigation systems.

Palavras-Chave: Demanda Econômica, Irrigação, Método Função de Produção.

¹ Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília - UnB. E-mail: brgoulart@gmail.com.

² Professor Adjunto da Universidade de Brasília. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Faculdade de Tecnologia – Prédio SG 12 – Térreo. Campus Universitário – Asa Norte. 70910-900, Brasília, DF. E-mail: cordeiro@unb.br.

INTRODUÇÃO

Políticas públicas na área de recursos hídricos produzem efeitos que, em geral, recaem sobre uma dimensão econômica, a qual, por sua vez, pode ser tanto positiva, quanto negativa. A resolução de conflitos pelo uso da água requer a identificação e comparação dos benefícios e custos envolvidos, dentre um conjunto de possibilidades de análises, em confronto com múltiplas alternativas e interesses por parte dos usuários. Benefícios são os efeitos desejáveis de uma proposta, enquanto os custos podem ser avaliados como os impactos indesejáveis. O balanço entre os custos e benefícios na implantação de uma medida ou projeto é conhecido como análise de custo-benefício.

Segundo Muller (2007), a análise de custo-benefício, inicialmente, só considerava os custos e benefícios econômicos diretos associados a uma política ou projeto. Com o tempo, passou-se a agregar também custos indiretos, incluindo-se nestes, os sociais. Mais recentemente, também passaram a fazer parte do escopo dessa análise alguns impactos e benefícios de origem ambiental. A experiência prática mostra que, dificilmente, intervenções em políticas podem produzir uma melhora do bem-estar social sem que haja alguma perda de utilidade percebida por alguns indivíduos.

Griffin (1998) comenta que, inevitavelmente, haverá experiências de perda por alguns indivíduos quando da implantação de um projeto de infra-estrutura qualquer. Sob o ponto de vista geral da sociedade, o saldo da análise de custo-benefício pode ser positivo, mas, entretanto, deve-se ter o cuidado para que as inevitáveis perdas inerentes a cada projeto não recaiam majoritariamente sobre aquelas pessoas que já se encontram em circunstâncias desfavoráveis como, por exemplo, a população de baixa renda. De acordo com Young (1996), a saída dos economistas para esse impasse foi a de que, se os beneficiários de uma medida puderem compensar aqueles que perderam com esta e, ainda assim, permanecerem em uma condição melhor do que a anterior, a mudança será avaliada como positiva.

Uma das principais razões para adoção de instrumentos econômicos como ferramentas de suporte à gestão, mais especificamente na área de recursos hídricos, é a possibilidade desses instrumentos induzirem o mercado a internalizar os custos incorridos pela utilização da água nos processos produtivos da economia. Ademais, procura-se incluir, nesses custos, as características particulares

da água no que tange à sua variabilidade no espaço e no tempo, bem como suas variantes qualitativas em ambas as circunstâncias.

OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é discutir e avaliar o valor econômico da água, na condição desse bem como insumo para o processo de irrigação. Nesse sentido, buscar-se-á construir procedimento *ad hoc* contendo as etapas referentes à construção de uma curva de demanda de água para a irrigação, utilizando, como caso de estudo, a bacia do rio Preto (DF/GO/MG). Ao final, pretende-se obter a renda incremental que um metro cúbico de água proporciona àqueles produtores que optam por investir na aquisição de um sistema de irrigação e incorporá-lo às suas respectivas cadeias produtivas de grãos.

MARCO TEÓRICO-CONCEITUAL

A avaliação do valor dos custos e benefícios, em termos monetários, aplicada à análise de custo-benefício, pode ser contextualizada em três diferentes tipos. O primeiro deles refere-se à hipótese de haver um mercado bem estabelecido para a tomada de preços. O segundo tipo de realidade econômica é aquela em que há existência de um mercado, mas que, no entanto, este é tido como imperfeito, ou seja, não há condições plenas de competição e, por conseguinte, os preços não refletem a real disposição a pagar dos seus constituintes. No outro extremo, podem-se ter casos em que não haja qualquer mercado para valoração de insumos ou rendas, como ocorre em exemplos práticos de estimativas dos benefícios da preservação ambiental, de recreação, ou danos decorrentes da degradação da qualidade da água. Esses dois últimos tipos – mercados imperfeitos e ausência completa de mercado - são os mais presentes em projetos de valoração no contexto do planejamento em recursos hídricos (Young, 1996).

A temática de valoração da água, considerando-a como um bem intermediário da etapa produtiva, é baseada na teoria do produtor. A sua construção analítica pressupõe o uso de uma função Z , tal que o nível de produção seja dado pela seguinte função:

$$Z = f(X_i, X_w) \quad (1)$$

em que X_i corresponde ao vetor de insumos necessários à produção de um bem qualquer e X_w é a quantidade de água requerida nesse processo.

Sendo p_z o preço do produto $Z = f(X_i, X_w)$, p_{x_i} e p_{x_w} os preços dos i insumos e o da água, respectivamente, a função lucro π pode ser expressa pela seguinte relação:

$$\pi = p_z \times Z - \sum_{i \neq w} p_{x_i} \times X_i - p_{x_w} \times X_w \quad (2)$$

A teoria da produção mostra que o produtor ajusta o seu grau de utilização de cada insumo ao objetivo de maximizar o seu lucro, de forma que a produtividade marginal de cada recurso se iguale ao seu preço³. Assumindo-se também a hipótese de que os preços se mantêm constantes (a variação marginal de Z é suficientemente pequena em relação ao mercado do produto Z), então a maximização do lucro em relação a uma variação dos insumos pode ser expressa como:

$$\frac{\partial \pi}{\partial X_i} = p_z \times \frac{\partial Z}{\partial X_i} - p_{x_i} = 0 \quad (3)$$

Manipulação algébrica simples da Equação 3 leva à constatação de que o valor do produto marginal de cada insumo (VPM_i) é dado pelo seu respectivo produto marginal (Pmg_i) valorado pelo preço do bem produzido (Equação 4). Chama-se atenção ao fato de que o mesmo resultado seria obtido, caso a derivação tivesse sido feita para o insumo água.

$$VPM_i = p_z \times Pmg_i \quad (4)$$

Um segundo postulado econômico – válido para as condições de perfeita concorrência - enuncia que o valor total de um produto pode ser dividido segundo parcelas em que cada insumo é pago de acordo com a sua respectiva produtividade marginal. Assumindo as hipóteses estabelecidas nessa afirmativa como factíveis, estabelece-se, então, a seguinte equação:

$$VTP_z = \sum_{i \neq w} VPM_i \times X_i + VPM_w \times X_w \quad (5)$$

³ Hipótese teórica válida para o equilíbrio geral em mercados perfeitos (Young, 1996).

O valor da produtividade marginal da água (preço por unidade de volume) pode ser isolada na Equação 5, de modo a se obter uma expressão para o valor da água, como um insumo do processo produtivo:

$$P_w = \frac{\left[(Z \times P_z) - \left(\sum_{i \neq w} P_{x_i} \times X_i \right) \right]}{X_w} \quad (6)$$

A formulação apresentada na Equação 6 recebe a denominação de *método do valor residual* ou *método da função de produção*. A utilização mais geral desse método, envolvendo a produção de múltiplos produtos e vários insumos, é conhecida como *método da variação da renda líquida*.

METODOLOGIA

A metodologia proposta neste artigo envolveu, como primeiro procedimento analítico, o uso de técnicas de sensoriamento remoto para delimitação e contabilização dos pivôs-centrais na bacia do rio Preto. Em paralelo a esse processo, foram levantadas informações sobre as principais culturas praticadas nessa região, junto à Empresa de Assistência Técnica e Rural do Distrito Federal - EMATER/DF, além de valores médios de produtividade, preços e custos de insumos inerentes a essa atividade em banco de dados de instituições públicas oficiais, como a CONAB, EMBRAPA e IBGE. Adotou-se a premissa de que a variabilidade da produção de grãos na região seria aderente à distribuição gaussiana. Maiores detalhes quanto a essa última consideração podem ser checados em Just e Weninger (1999) e Ker e Coble (2003).

O consumo de água envolvido nesse processo produtivo foi aferido em conformidade ao calendário produtivo previamente adotado para a bacia e seguiu procedimento clássico da área de irrigação, disponível em Bernardo (1995). Por último, a estimativa do valor da água foi feita empregando-se o *método da função de produção* – Equação 6. De forma esquemática, a metodologia empregada pode ser resumida pelo fluxograma disposto na Figura 1.

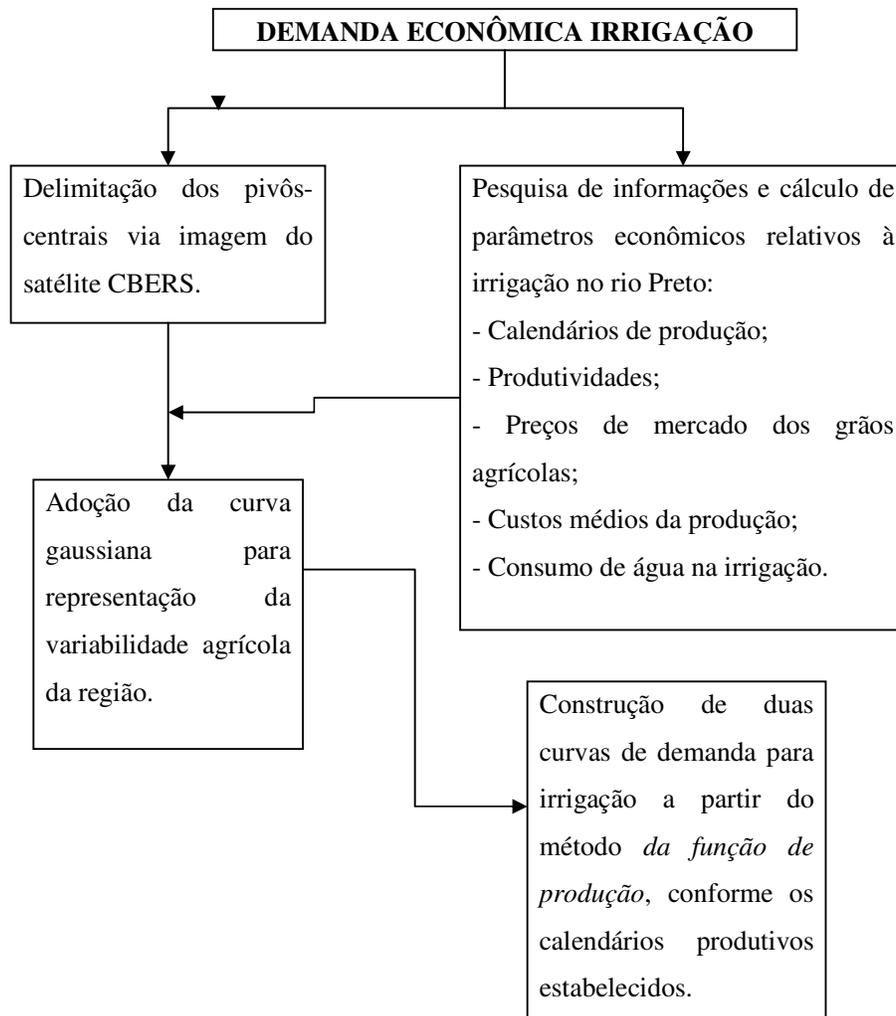


Figura 1 – Fluxograma da Metodologia Proposta

DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO E RESULTADOS

Relatório da Secretaria de Infra-estrutura e obras do Distrito Federal (SEINFRA, 2006) aponta para uma alta incidência de pivôs-centrais na região do Distrito Federal e seu entorno imediato e indica o uso dessa técnica como a preponderante dentre os sistemas de irrigação utilizados pelos agricultores da região localizados na bacia do rio Preto. Nesse mesmo trabalho, estima-se que 74% da área destinada à irrigação seja feita por meio de pivôs-centrais. O estudo de Sano *et al.* (2002) corrobora essa assertiva e mostra que houve um acréscimo de cerca de 75% no consumo de água para a irrigação por pivô-central no Distrito Federal entre os anos 1992 e 2002.

Em face da alta predominância de pivôs-centrais existentes na região do rio Preto, optou-se por identificar essas porções via imagem de satélite. O formato circular dessa tecnologia de irrigação facilita muito a contabilização das áreas destinadas à agricultura por meio de técnicas de sensoriamento remoto. Devido à alta representatividade que os sistemas de pivôs têm sobre as demais práticas de irrigação nessa região, julgou-se que a identificação dessas áreas de plantio pudesse resultar numa boa representatividade do perfil do agricultor localizado na mesma e, dessa maneira, servir como informação de entrada à análise econômica do uso da água para finalidades de irrigação nessa bacia.

Nesse sentido, imagens do satélite CBERS (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) foram adquiridas da página na *internet* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O passo seguinte foi o de identificar e delimitar os pivôs-centrais. Na Figura 2 mostra-se um recorte do mosaico construído da bacia do rio Preto, no qual se podem identificar várias áreas irrigadas com pivô-central.

Ao total, foram identificados 207 pivôs-centrais ao longo de toda a extensão da bacia, o que resultou em um montante de 17.620 hectares de terras irrigadas com tal tecnologia. Na Figura 3, mostra-se a disposição espacial de todos os pivôs-centrais delimitados na bacia. Nota-se que a maior concentração desses sistemas localiza-se na parte noroeste da bacia, em sua maior parte, dentro do território do Distrito Federal. No gráfico da Figura 4, mostra-se um histograma contendo um resumo das freqüências relativas de cada pivô, segundo suas respectivas faixas de áreas irrigadas. O maior pivô detectado apresentou área de 172 hectares, enquanto que o menor teve área de 18 hectares. O valor médio de área, a partir de todos os pivôs identificados, foi de 85 hectares.



Figura 2 – Detalhe dos Pivôs-Centrais

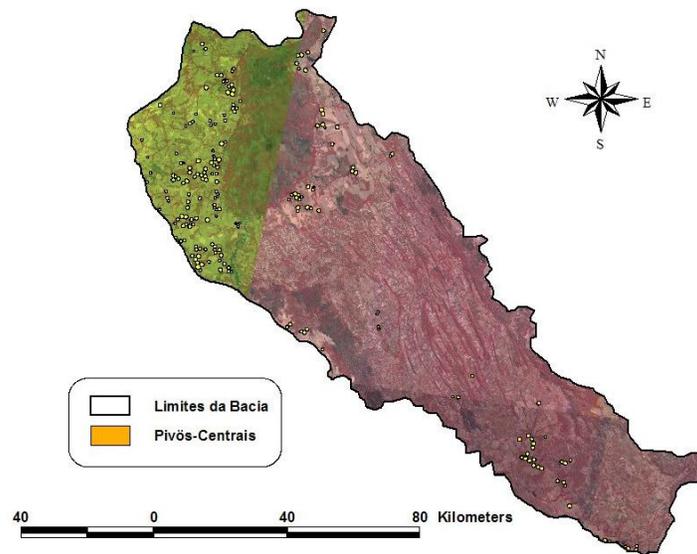


Figura 3 – Caracterização dos Pivôs-Centrais

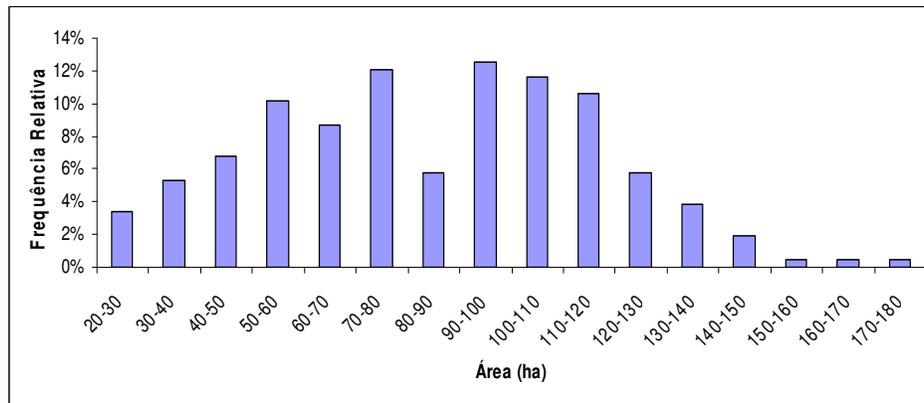


Figura 4 – Distribuição dos Pivôs-Centrais

Informações Econômicas

Para que o benefício líquido do agricultor irrigante fosse auferido, além das informações sobre a técnica de cultivo e a área de plantio, requereu-se pesquisa sobre dados da dinâmica produtiva da região. Nesse sentido, fez-se necessário conhecer o ciclo produtivo das principais culturas praticadas na bacia, além de informações de produtividade, preço médio de mercado, custos fixos e variáveis do processo produtivo.

Em face da complexidade de se alcançarem todas as possibilidades produtivas existentes na região de estudo, algumas simplificações foram tomadas com o objetivo de tentar explicar um comportamento médio do agricultor da bacia do rio Preto. Dessa forma, a primeira medida foi a de procurar conhecer os principais ciclos de cultivo que eram praticados na região. Contato com a Empresa de Assistência Técnica e Rural do Distrito Federal (EMATER/DF) - mais especificamente no escritório da região do rio Jardim, sub-bacia do rio Preto -, foi estabelecido para que informações dessa natureza pudessem ser adquiridas sobre a realidade agrícola da área de estudo.

Em relação ao produtor com características de sequeiro, ou seja, aquele que exerce o cultivo de grãos apenas na época de maior incidência de chuva (período que se estende de outubro a março na região em estudo), o ciclo produtivo mais representativo desse agricultor seria, segundo os técnicos da EMATER/DF, o plantio de feijão no mês de setembro, com colheita em meados de janeiro, seguido de uma safra posterior de milho ou sorgo - de menor produtividade e com um calendário curto, estendendo-se de fevereiro a abril.

No restante do ano, parte desses agricultores segue com atividades ligadas à pecuária, mas, contudo, não chega a ser representativo o número de produtores que exercem tal atividade complementar, tão pouco a renda líquida que os mesmos adquirem dessa atividade. O consenso a que se chegou, depois das discussões feitas com os técnicos da EMATER/DF, foi o de que o produtor de sequeiro, em sua grande parte, não exerce atividades econômicas significativas fora do período úmido. Essa constatação leva à conclusão de que a maior parte de sua renda anual provém dos lucros auferidos com as duas safras cultivadas na estação de verão.

Na Figura 5, dispõem-se os principais ciclos produtivos realizados na bacia do rio Preto.

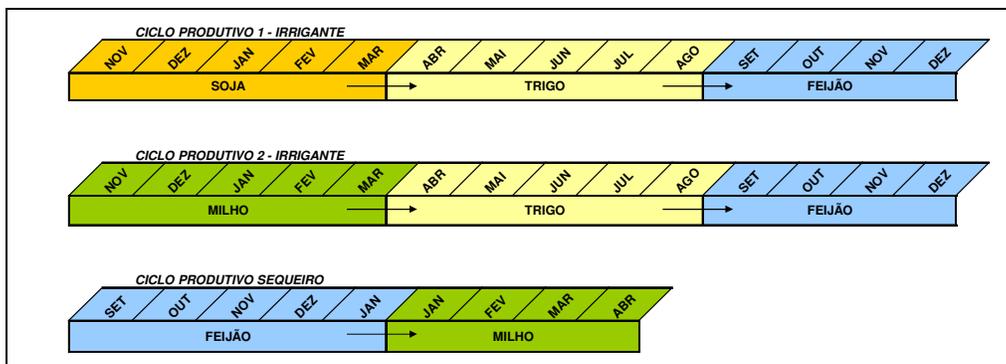


Figura 5 – Calendário Produtivo de Grãos

Produtividade Agrícola

Um parâmetro importante da análise econômica, quando se pretende estudar a renda percebida pelo agricultor, diz respeito à produtividade agrícola de suas respectivas colheitas. No caso deste trabalho, julgou-se importante coletar valores médios de produtividade para cada tipo de cultivo e, depois, assumir uma distribuição de probabilidade como representativa dos valores obtidos pelos agricultores em toda a bacia do rio Preto.

Na Tabela 1 a seguir, dispõe-se um resumo dos valores médios de produtividade empregados para os quatro tipos de culturas avaliadas, conforme o modo de produção, sequeiro ou irrigado.

Tabela 1 – Produtividade Média das Principais Culturas (Kg/ha) ⁴

Soja¹		Trigo²		Feijão³		Milho⁴	
Sequeiro	Irrigado	Sequeiro	Irrigado	Sequeiro	Irrigado	Sequeiro	Irrigado
-	3.300	-	5.216	2.700	3.000	6.000	10.250

1 - Produtividade irrigada segundo Guerra et al. (2005).

2 – Produtividade irrigada segundo Azevedo et al. (2001).

3 – Produtividades de sequeiro e de irrigação segundo EMATER (2008).

4 – Produtividade de sequeiro segundo EMATER (2008) e irrigada conforme Guerra e Jacomazzi (2001).

Além da produtividade média, requereu-se ainda que fossem auferidos valores para o desvio-padrão da produtividade média de cada cultura. A solução adotada para a estimativa do desvio-padrão referente à produtividade de cada cultura foi a de levantar, junto ao banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE –, dados recentes de produtividade agrícola dos municípios integrantes da bacia e, a partir dessas informações, efetuar o cálculo do desvio.

Mostram-se, na Tabela 2, os dados de produtividade agrícola dos municípios que compõem a bacia do rio Preto, relativos ao ano de 2007 (IBGE, 2007). A divisão territorial dos municípios da bacia pode ser conferida na Figura 6. Ressalta-se que, em razão de não se dispor de amostras distintas

⁴ Não se incluíram valores de produtividade média para culturas em sequeiro de soja e trigo pela razão de tais práticas não serem contempladas no calendário produtivo proposto (vide Figura 4).

para as duas modalidades produtivas - sequeiro e irrigado -, adotou-se o mesmo valor de desvio-padrão para ambas as práticas, quando as mesmas tratavam do mesmo grão⁵.

Tabela 2 – Produtividade Agrícola dos Municípios (Kg/ha) (IBGE, 2007)

Cultura	DF	Goiás					Minas Gerais					Desvio Padrão
	Brasília	Formosa	Cabeceiras	Cristalina	Cabeceira Grande	Unai	Natalândia	Bonfinópolis	Dom Bosco	Brasilândia		
soja	2712	3000	3000	2400	2700	2400	-	2400	1900	-	366,9	
trigo	5242	-	-	4800	-	4500	-	-	-	-	373,9	
feijão	2446	1676	2192	2118	2569	2429	1389	2400	-	-	415,8	
milho	6393	6000	6714	6457	5932	5373	3000	4000	3200	4800	1.371,9	

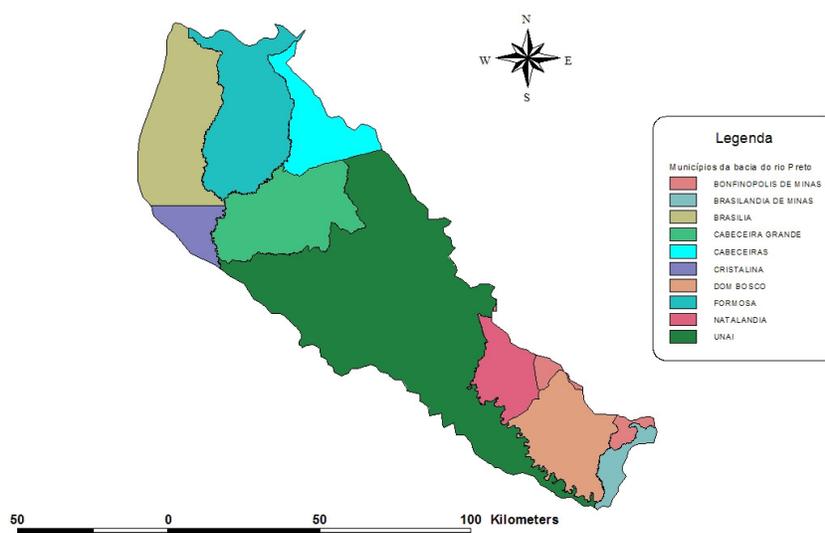


Figura 6 - Municípios Componentes da Bacia do Rio Preto

Com efeito, foram gerados seis vetores contendo, cada um, 207 valores aleatórios de produtividade agrícola - em consonância com o número de pivôs delimitados na bacia -, sendo que cada vetor corresponde a um tipo de cultura e a uma modalidade de produção (irrigada ou sequeiro). Na Figura 7 mostram-se os resultados para as culturas irrigadas e, na Figura 8, dispõem-se os resultados para a modalidade de sequeiro.

⁵ Os dados do IBGE agregam toda a produção de uma determinada cultura e dividem esse valor pela respectiva área cultivada. Não há, portanto, diferenciação entre diferentes modos de produção quando se contabiliza a produtividade agrícola de um município.

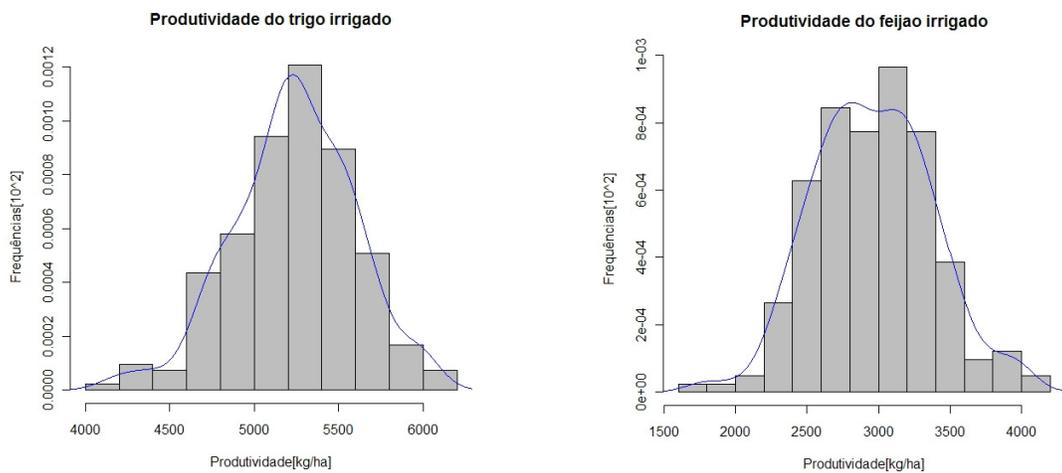
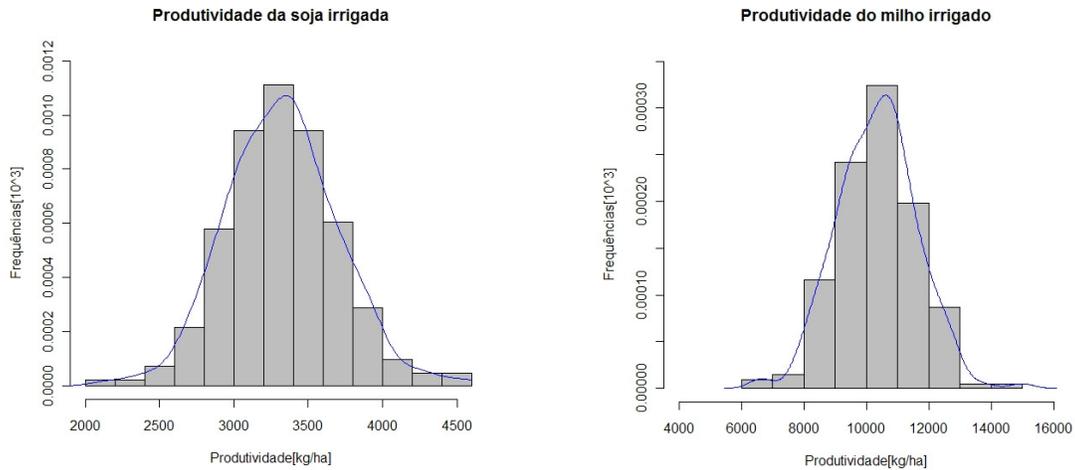


Figura 7 – Variabilidade da Produtividade das Culturas Irrigadas

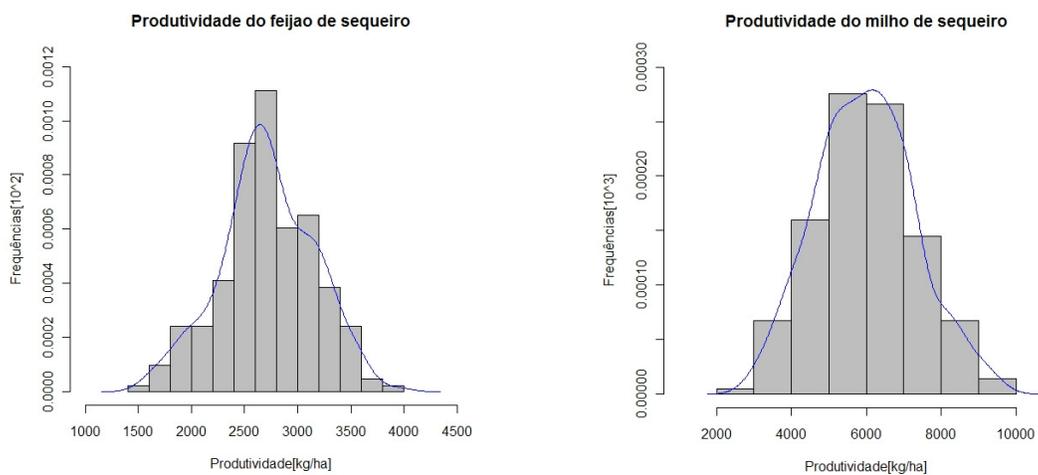


Figura 8 – Variabilidade da Produtividade das Culturas de Sequeiro

Frise-se que a abordagem ora proposta comete uma simplificação conceitual importante quando utiliza dados de média amostral (EMBRAPA) e desvio-padrão (IBGE) de bases amostrais distintas. O ideal teria sido levantar, junto à bacia do rio Preto, dados de produtividade agrícola entre os agricultores, para que então fossem inferidos valores mais fidedignos para a média e desvio-padrão amostrais associados à produtividade agrícola daquela região.

Preços de Mercado dos Produtos Agrícolas

Como requisito para a contabilização da renda bruta recebida pelo agricultor, além do parâmetro produtividade, necessitou-se que os preços de mercado dos grãos produzidos também fossem avaliados. O sítio da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB - na internet centraliza extensa quantidade de índices agropecuários de todo o Brasil. Dentre outras instituições que possuem indicadores agropecuários, a CONAB foi a que apresentou dados mais próximos da realidade da bacia do rio Preto, como preços agrícolas da soja e do milho praticados no Estado de Goiás.⁶ Entretanto, nos casos do trigo e do feijão, por serem cultivos cuja produção é notadamente maior em outras regiões do país e, por conseguinte, não haver indicadores em Estados mais próximos à região de interesse, teve-se que recorrer a preços em unidades da Federação mais distantes, quais sejam, Paraná e Bahia, respectivamente.

Mostram-se, na Tabela 3, os dados utilizados e a média de preços de mercado dos grãos na bacia do rio Preto.

Tabela 3 – Preço Médio para as Culturas (R\$/Kg) (CONAB, 2008)

	Referência	2007		2008				
	UF	MAI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	Média
Soja	Goiás	0,44	0,70	0,71	0,71	0,65	0,66	0,64
Trigo	Paraná	0,43	0,56	0,58	0,64	0,69	0,69	0,60
Feijão	Bahia	0,70	1,93	1,98	2,08	1,77	1,17	1,60
Milho	Goiás	0,24	0,43	0,35	0,35	0,34	0,34	0,34

⁶ A EMATER/DF foi a primeira instituição a ser pesquisada, mas tais informações não constavam em um banco de dados oficial. Outras instituições, como o CEPEA/USP, também foram objetos da referida pesquisa.

Custos de Produção

Os custos de produção foram diferenciados em termos da cultura e da modalidade de produção. Para tanto, adotaram-se planilhas de custos disponibilizadas no sítio da EMATER/DF, as quais foram avaliadas como boas referências para a região. Em relação ao trigo, entretanto, utilizaram-se dados da CONAB (2008), referentes ao Estado do Paraná, por não haver informações similares no sítio supracitado.

Aos custos da modalidade irrigada, resta ainda incluir a depreciação do pivô-central. Nesse quesito, pesquisaram-se, junto a revendedores desses equipamentos no Distrito Federal, preços praticados na venda do pivô, oportunidade na qual se obteve um valor de referência em torno de R\$ 4.000 por hectare irrigado. Partindo-se desse referencial e, adotando-se uma taxa de juros de 12% ao ano, uma vida útil de 15 anos e um valor residual de 20% em relação ao custo inicial de aquisição, chega-se a uma taxa anual de depreciação para o pivô de R\$ 565,84 por hectare irrigado.

Em consonância com o calendário produtivo da Figura 4, a taxa de depreciação do pivô foi diluída ao longo de um ciclo de produção e, portanto, dividida entre as três culturas que compõem o calendário produtivo da modalidade irrigação. Feita essas considerações, chegou-se ao resumo exposto na Tabela 4, o qual revela os custos de produção adotados neste trabalho, incluindo-se nestes, as duas modalidades produtivas.

Tabela 4 – Resumo dos Custos de Produção (R\$/ha)

Modalidade	Soja	Trigo	Feijão	Milho
Sequeiro	1.625,06	1.342,77	2.003,28	1.568,79
Irigada	1.961,93	1.866,42	2.402,95	1.877,99

Estimativa do Consumo de Água na Irrigação

O volume de água consumido no processo de irrigação é uma variável chave no cômputo do benefício que a água agrega ao processo de produção agrícola, em especial, à produtividade dos grãos. Nesse aspecto, procurou-se inferir, a partir do arranjo produtivo concebido para a bacia do rio Preto, qual seria o volume médio captado nos mananciais da bacia para a produção irrigada, especialmente aquele feito por meio de pivôs-centrais.

A lâmina total de água necessária à irrigação (*ITN*), em um determinado período (no caso do presente trabalho, adotou-se o de um mês), é medida em termos de lâmina d'água e pode ser calculada mediante a seguinte expressão⁷:

$$ITN = \frac{ETrc - Pe}{Ea} \quad (7)$$

onde *ETrc* é a evapotranspiração real média mensal da cultura; *Pe* é a precipitação efetiva média de um mês e *Ea* corresponde à eficiência do método de irrigação utilizado.

A evapotranspiração real da cultura (*ETrc*) pode ser obtida multiplicando-se o coeficiente *Ks*, o qual visa à correção da umidade do solo em função da mesma não permanecer sempre próxima à capacidade de campo, ao valor da evapotranspiração potencial de cada cultura (*ETpc*). Adotando-se a premissa de que, em áreas irrigadas, a umidade do solo tende a ser mantida próxima à capacidade de campo, adotou-se um único valor médio para o parâmetro *Ks*, igual a 0,95.

No que tange ao parâmetro *ETpc*, sua estimativa foi feita aplicando-se, aos valores previamente levantados de evapotranspiração de referência (*ETo*) para a região (SEAPA, 1996), o coeficiente de cada cultura (*Kc*) envolvida neste estudo a partir de trabalhos desenvolvidos por equipe de técnicos da Embrapa na região do Cerrado, a saber: Guerra e Jacomazzi (2001a), Guerra e Jacomazzi (2001b), Guerra *et al.* (2002), Guerra *et al.* (2005).

A precipitação efetiva foi calculada em função da precipitação média mensal - esta contabilizada pelo método de Thiessen, utilizando-se informações de ANA (2008) - e da evapotranspiração potencial média mensal de cada cultura, segundo procedimento proposto pelo Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos, consultado em Bernardo (1995).

A lâmina d'água requerida pelas culturas foi convertida em vazão, multiplicando-se se o valor calculado em cada mês para o *ITN* pela área total irrigada e dividindo-se esse volume resultante pelo intervalo de tempo contido em um mês. Procedendo-se dessa forma, chegou-se a uma estimativa média do consumo mensal de água na bacia do rio Preto, para cada um dos dois ciclos de produção. O resultado dessa análise está disposto na Figura 9.

⁷ Adotou-se uma eficiência de aplicação de 80% para a técnica de pivô-central, conforme disposto em Bernardo (1995).

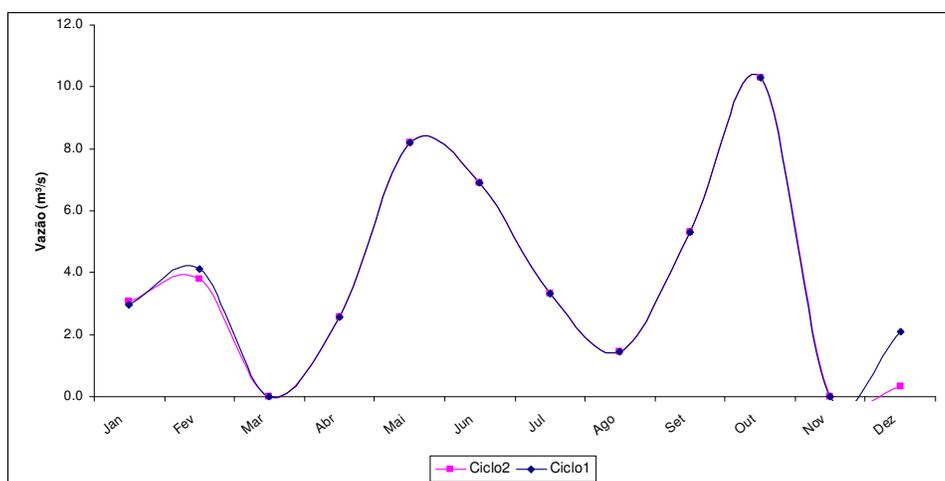


Figura 9 – Irrigação por Pivô-Central no Rio Preto

Curva de demanda para a irrigação no rio Preto

Finalizada a etapa de estimativa dos preços praticados no mercado de grãos agrícolas, do custo médio de produção e do volume de água consumido, pôde-se então dar início ao procedimento para construção da curva de demanda econômica para a água usada na irrigação agrícola. O primeiro passo consistiu em se efetuar o cálculo da renda bruta e do custo total de cada célula produtiva, a qual é entendida aqui como sendo a área delimitada por um pivô-central. Uma vez contabilizados esses dois fatores, a renda líquida da irrigação foi obtida efetuando-se a diferença entre os mesmos. De maneira análoga, pôde-se também contabilizar quais seriam os custos e a renda percebida nessa mesma área de plantio, só que para o caso em que esta fosse destinada ao modo de produção em sequeiro.

O valor da água pôde ser derivado a partir da Equação 6. Essa expressão, vista sob a ótica deste trabalho, nada mais é do que a razão entre a diferença das rendas líquidas das duas modalidades produtivas – irrigada e sequeiro – e o volume total de água consumido na irrigação. Tendo em vista o fato de a produtividade agrícola ter sido considerada uma variável aleatória, aderente à distribuição normal, os resultados obtidos para o valor da água também apresentaram uma variabilidade estatística. Na Figura 10 mostra-se a variação do valor da água calculado em toda a bacia para o ciclo1, bem como algumas estatísticas relevantes. Na Figura 11, esses mesmos resultados são dispostos para o segundo calendário produtivo considerado.

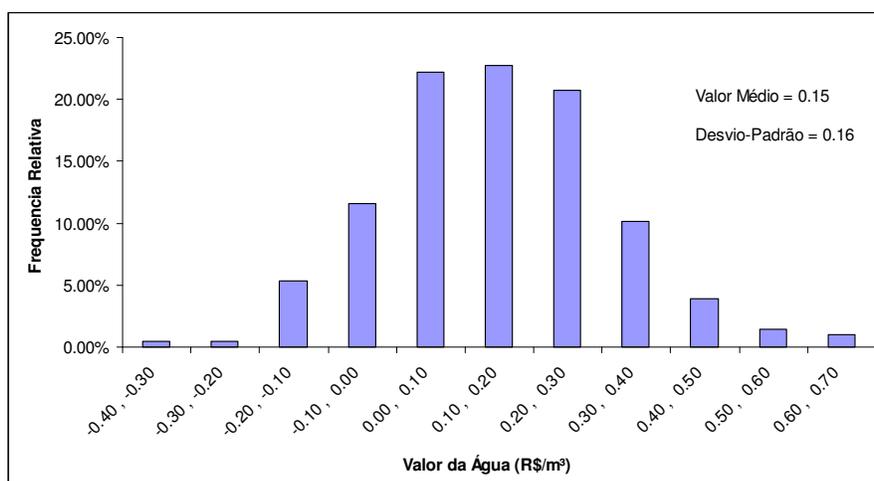


Figura 10 – Valor da Água para Irrigação Conforme Calendário do Ciclo 1

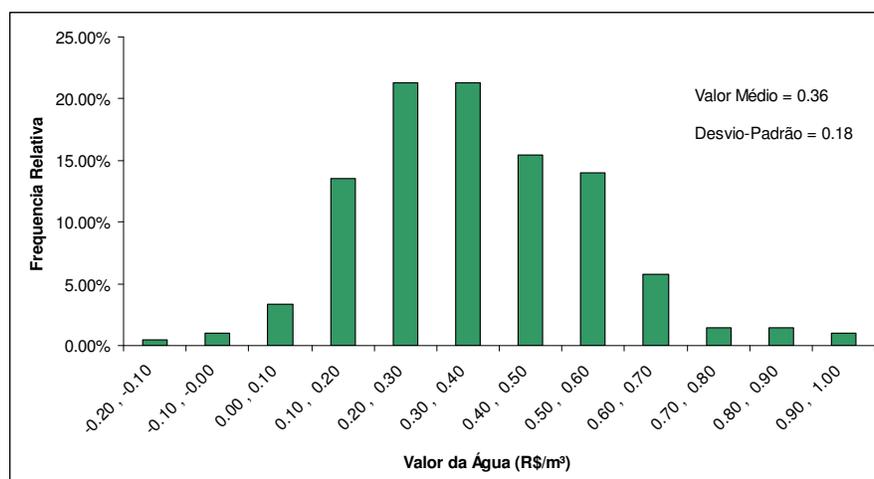


Figura 11 – Valor da Água para Irrigação Conforme Calendário do Ciclo 2

A partir desses últimos resultados, pôde-se construir uma curva de demanda para água na bacia, representando o benefício incremental que a água proporciona ao próximo agricultor que deseje irrigar. Esse benefício apresenta uma tendência decrescente, na medida em que o retorno marginal líquido decai enquanto mais unidades do insumo água são consumidas.

Com efeito, os dados de renda líquida, calculados para todas as células produtivas, foram ordenados de forma decrescente e, a partir dessa ordenação, procedeu-se ao cálculo da renda acumulada em toda a bacia, que nada mais é do que o somatório desses valores de renda decrescente, armazenados em um novo vetor de dados. De forma análoga, ordenou-se o consumo d'água de cada célula

produtiva em formato decrescente e, após isso, procedeu-se à soma desses valores, gerando um vetor adicional contendo volumes de água acumulados.

A divisão do vetor de renda acumulada pelo vetor de volume acumulado resulta no benefício marginal da água para a irrigação na bacia do rio Preto. Todos esses valores, dispostos em um gráfico, correspondem ao esboço de uma curva de demanda pela água utilizada para a irrigação nessa bacia. Na Figura 12, mostram-se os resultados para os dois ciclos produtivos estudados.

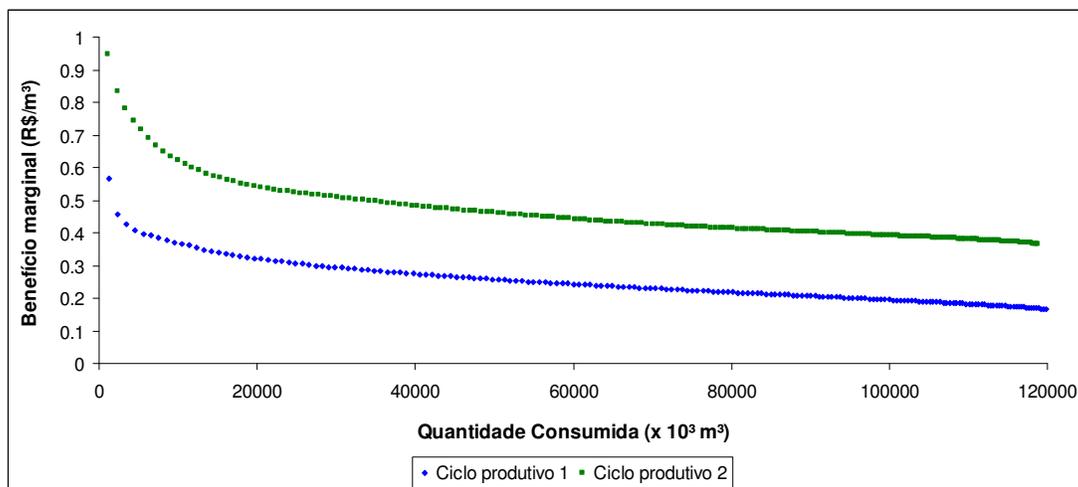


Figura 12 – Curvas de Demanda de Água para Irrigação no Rio Preto

Ao analisar as duas curvas, nota-se que ambas apresentam benefícios marginais decrescentes, sendo que a do ciclo 2 tem um patamar mais elevado, em razão de o milho ter tido uma renda bruta média superior a da soja. Outra maneira de interpretar essas curvas seria como sendo a representação da disposição a pagar de um irrigante da bacia por um m³ de água adicional captado do rio Preto. Essa disposição a pagar decai na medida em que o irrigante utiliza a água para a produção de grãos, e sua utilização aproxima-se da quantidade requerida para seu respectivo cultivo.

CONCLUSÕES

Esses resultados levam a algumas considerações interessantes quanto ao valor econômico que a água pode ter, quando utilizada para a irrigação de produtos agrícolas. Primeiramente, pelo fato de a produtividade agrícola ser um fator que naturalmente apresenta grande variação local, a renda líquida percebida pelo irrigante, e, conseqüentemente, o benefício econômico que a água

proporciona a ele, é fortemente dependente do quão eficiente se torna o seu processo de irrigação. Ainda que tenham sido poucas as células produtivas que apresentaram valores da água negativos (menos de 5% dos casos nos dois ciclos), não é nulo o risco ao qual o irrigante se submete quando investe numa estrutura de irrigação para a produção agrícola.

Com efeito, o maior valor médio obtido para os irrigantes que optaram pelo plantio inicial de milho (ciclo 2) se deve à combinação da maior produtividade dessa cultura quando comparada à soja (valor médio cerca 3 vezes maior) e ao preço de mercado que, embora seja cerca de duas vezes menor, manteve-se em um patamar ainda suficiente para que o produto entre a produtividade e o preço (renda bruta) permanecesse superior. Em suma, as oscilações dos preços de mercado de *commodities* ou avanços tecnológicos na produção agrícola influenciam diretamente a estimativa do valor econômico da água utilizada na irrigação.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com a valiosa ajuda do engenheiro agrônomo (M.Sc.) Lúcio Taveira Valadão, da EMATER/DF, sobre a dinâmica produtiva de culturas irrigadas na bacia do rio Preto. Os autores também agradecem ao CNPq pela bolsa de estudo de mestrado concedida ao primeiro autor durante a realização deste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA (2008). *Sistema de Informações Hidrológicas - Hidroweb*. Agência Nacional de Águas. Disponível em <www.hidroweb.ana.gov.br>.
- AZEVEDO, J.A.A., SILVA, D.B., ANDRADE, J.M.V., ANDRADE, L.M. (2001). “Tensiometria Aplicada no Manejo da Irrigação por Pivô-Central na Cultura do Trigo”. *Comunicado Técnico*. N. 39. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 2p.
- BERNARDO, S. (1995). *Manual de Irrigação*. Editora da Universidade Federal de Viçosa, 6ª Edição, Viçosa, Minas Gerais, 657 p.
- CONAB (2008). *Central de informações agropecuárias da Companhia Nacional de Abastecimento*. Disponível em <www.conab.gov.br>.

- EMATER (2008). *Custos de Produção de Grãos no Distrito Federal*. Disponível em <www.emater.df.gov.br>.
- GRIFFIN, R.C. (1998) “The Fundamental Principles of Cost-Benefit Analysis”. *Water Resources Research*, 34 (8), 2063-2071.
- GUERRA, A.F. e JACOMAZZI, M.A. (2001a). “Método do Tanque Classe A para Irrigação Suplementar da Cultura de Trigo no Cerrado”. *Comunicado Técnico*, n. 58. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 2p.
- GUERRA, A.F. e JACOMAZZI, M.A. (2001b). “Método do Tanque Classe A para Irrigação Suplementar da Cultura de Milho no Cerrado”. *Comunicado Técnico*, n. 59. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 2p.
- GUERRA, A.F., RODRIGUES, G.C., NAZARENO, R.B. (2002). “Uso do Tanque Classe A para Irrigação do Feijão Pérola no Cerrado”. *Comunicado Técnico*, n.84. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 4p.
- GUERRA, A.F., ROCHA, O.C., RODRIGUES, G.C., SOUZA, P.I.M. (2005). “Método do Tanque Classe A para Irrigação da Soja, Cultivar Sambaíba, no Cerrado”. *Comunicado Técnico*, n. 120. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 3p.
- IBGE (2007). *Sítio Institucional do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Disponível em <www.ibge.gov.br>.
- JUST, R.E. e WENINGER, Q. (1999). “Are Crop Yields Normally Distributed?” *American Journal of Agricultural Economics*, 81 (2), 287-304.
- KER, A.P. e COBLE, K. (2003). “Modeling Conditional Yield Densities”. *American Journal of Agricultural Economics*, 85 (2), 291-304.
- MUELLER, C. C. (2007). *Os Economistas e as Relações entre o Sistema Econômico e o Meio Ambiente*. Editora Universidade de Brasília/Finatec, Brasília, Brasil. 562 p.
- SEINFRA (2006). *Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal*. Secretaria de Infra-Estrutura e Obras do Distrito Federal, Brasília, Brasil.
- SANO, E.E., LIMA, J.E.F.W., SILVA, E.M. e OLIVEIRA, E.C. (2005). “Estimativa da Variação na Demanda de Água para Irrigação por Pivô-Central no Distrito Federal entre 1992 e 2002.” *Engenharia Agrícola*, 25 (2), 508-515, Jaboticabal, São Paulo, Brasil.
- SEAPA (1996). *Inventário de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paracatu*. Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais.
- YOUNG, R.A. (1996). *Measuring Economics Benefits for Water Investments and Policies*. World Bank Technical Paper No. 338. The World Bank, Washington D.C., U.S.A.