

DALMÁCIO ESPINDULA NETO

USO RACIONAL DE ÁGUA E DE ENERGIA ELÉTRICA NA CAFEICULTURA  
IRRIGADA POR PIVÔ CENTRAL E GOTEJAMENTO

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2002

À minha mãe, Guerlinda Berger Espindula, por sua dedicação, apoio, carinho e incentivo ao longo de toda minha vida.

A meu pai, Waldir Espindula, pelo apoio.

À minha namorada e companheira Patrícia Valentim Ferreira, que em todos os momentos esteve ao meu lado, dando-me apoio, atenção e amor, o que a torna uma pessoa especial.

Aos meus irmãos, Emerson e Willian, pelo apoio e amizade.

Aos meus sobrinhos, Kelly e Phillipe, pelos momentos de alegria e felicidade.

Aos meus amigos, e a todos aqueles que me incentivaram durante a realização deste trabalho.

DEDICO

## **AGRADECIMENTO**

A DEUS, por iluminar meu caminho na busca de um ideal.

Aos meus familiares, pela formação e, principalmente, pelo estímulo.

À Universidade Federal de Viçosa, por intermédio de Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade oferecida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa.

Ao Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, em especial ao Núcleo de Cafeicultura Irrigada, pelo suporte financeiro e de recursos humanos.

Ao professor e orientador, Dr. Everardo Chartuni Mantovani, pela orientação, pelo incentivo, pela amizade e, principalmente, por acreditar na minha pessoa e no meu trabalho.

Aos professores Delly Oliveira Filho, Márcio Mota Ramos e Suely de F. R. Silveira, pelas valiosas sugestões como conselheiros.

A todos os professores do Centro de Ciências Agrárias da UFES, em especial ao professor Edvaldo Fialho dos Reis, pelo apoio nos momentos de indecisão e incerteza.

Aos funcionários da Fazenda Vista Alegre, em especial aos sócios-proprietários Alexandre e Belchior, que em nenhum momento mediram esforços para a realização deste trabalho.

Aos companheiros de trabalho e amigos, José Luiz “Zezão”, Guilherme “Bisca”, Danilo, Silvia, Olívio, Washington, Ricardo, Bérqson, Takeshi, Kleia, Rosandro “Mula”, Marconi, Hiran, Adjalma, Cristiano Tagliaferre, Cristiano

Zinato, Geovani, Gustavo, Adilson, Sidney e Dayan, pelo incentivo durante todo o curso.

Aos meus colegas da Engenharia Agrícola, que sempre estiveram comigo nas horas de trabalho, divertimento e descontração.

A todos os alunos e bolsistas do Projeto Café, pela amizade, pelo incentivo e apoio em todos os momentos.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, com destaque para Edna, Galinári, José Mauro e Marcos, pela colaboração, respeito e simpatia.

Aos amigos da república POMMERHAUS, pelo apoio e companheirismo.

## **BIOGRAFIA**

DALMÁCIO ESPINDULA NETO, filho de Guerlinda Berger Espindula e Waldir Espindula, nasceu em 19 de março de 1977, em Domingos Martins - ES.

Em dezembro de 1993, concluiu o Curso de Técnico Agrícola pela Escola Agrotécnica Federal de Santa Tereza, em Santa Tereza - ES.

Em outubro de 2000, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal do Espírito Santo, em Alegre - ES.

Em outubro de 2000, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em nível de Mestrado, na área de Irrigação e Drenagem, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em dezembro de 2002.

## ÍNDICE

LISTA DE QUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
RESUMO.....	xv
SUMMARY.....	xvii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	6
2.1. Irrigação na cultura do café.....	6
2.2. Manejo da irrigação.....	9
2.3. Sistema de suporte à decisão agrícola (SISDA).....	12
2.4. Escassez de água e energia elétrica.....	14
2.4.1. Escassez de água.....	14
2.4.2. Escassez de energia elétrica.....	14
2.5. Estimativa do carregamento e rendimento dos motores elétricos utilizados na irrigação.....	17
2.6. Influência da rede elétrica na operação de motores elétricos.....	18

2.7. Avaliação da adequação de força motriz.....	19
2.7.1. Análise técnica da adequação de força motriz.....	19
2.7.2. Análise econômica da adequação de força motriz.....	20
2.8. Avaliação da adequação do sistema de bombeamento.....	23
2.9. Custos da irrigação.....	23
2.9.1. Custo total (CT).....	24
2.9.2. Análise de índices econômico-financeiros.....	25
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1. Avaliação do manejo da irrigação.....	28
3.2. Estimativa do carregamento e rendimento dos motores elétricos utilizados nos sistemas de irrigação.....	31
3.3. Correção do rendimento devido à variação na amplitude de tensão e ao desequilíbrio na rede elétrica.....	33
3.4. Racionalização do uso da energia elétrica em sistemas de irrigação do tipo pivô central e gotejamento.....	35
3.5. Determinação dos custos de irrigação para os sistemas de irrigação do tipo pivô central e gotejamento.....	40
3.5.1. Custos fixos.....	40
3.5.2. Custos variáveis.....	41
3.6. Análise de índices econômico-financeiros.....	44
3.6.1. Renda bruta total.....	44
3.6.2. Renda líquida total.....	44
3.6.3. Índice de lucratividade.....	45
3.6.4. Margem bruta.....	45
3.6.5. Ponto de nivelamento.....	46
3.7. Análise socioeconômica .....	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
4.1. Caracterização climática.....	48

4.2. Análise do consumo de água e aspectos de manejo.....	51
4.3. Correção do rendimento dos motores elétricos devido à variação na amplitude e ao desequilíbrio da tensão.....	57
4.4. Racionalização do uso de energia elétrica em sistemas de irrigação do tipo pivô central e gotejamento.....	59
4.4.1. Adequação do uso de força motriz.....	59
4.4.2. Adequação dos conjuntos motobomba.....	68
4.5. Gastos anuais com consumo e demanda de energia elétrica.....	72
4.6. Avaliação dos custos envolvidos na cafeicultura irrigada por pivô central e gotejamento.....	77
4.7. Análise dos índices econômico-financeiros.....	85
4.8. Análise socioeconômica.....	92
5. CONCLUSÕES.....	94
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96
ANEXOS.....	104



## LISTA DE QUADROS

	<b>Página</b>
1 - Valores do parque cafeeiro (mil covas), área (ha), produção (mil sacas beneficiadas) e produtividade média (sacas ha <sup>-1</sup> ), para as diferentes regiões do estado de Minas Gerais (2001).	7
2 - Diferentes classificações dos níveis de produtividades alcançados com a cafeicultura irrigada (sacas beneficiadas ha <sup>-1</sup> ), ano agrícola de 2002.....	8
3 - Valores de capacidade de campo (CC), ponto-de-murchamento permanente (PM), massa específica do solo ( $\rho_s$ ), teores de areia, silte e argila para as profundidades adotadas de 0-20 cm e 20-60 cm, Fazenda Vista Alegre, Jaboticatubas - MG.....	29
4 - Valores de tensão na rede elétrica de alimentação (volts), corrente dos motores elétricos estudados (amperes) e potência dos motores elétricos (cv) em uso na Fazenda Vista Alegre.....	32
5 - Características elétricas dos motores utilizados na irrigação por pivô central e gotejamento para bombeamento da água na Fazenda Vista Alegre, Jaboticatubas – MG.....	36

6 -	Dados relativos a custo de energia elétrica, manutenção e índices econômicos.....	39
7 -	Encargos acrescidos ao salário-base dos funcionários responsáveis pela operação dos sistemas de irrigação.....	43
8 -	Dados médios mensais de temperatura média (Tmed, °C), umidade relativa média (UR, %), velocidade do vento (Vv, m s <sup>-1</sup> ), precipitação (Prec, mm) e insolação (Ins, h), município de Sete Lagoas – MG, período de 1996 – 2001.....	49
9 -	Valores mensais e totais de lâmina bruta de irrigação (mm) realizada pelo empresário agrícola (irrigação real) e simulados pelo SISDA (irrigação simulada), para os sistemas de irrigação estudados, considerando as limitações proporcionadas pelo equipamento de gotejamento e não havendo restrições quanto às limitações, para o ano agrícola de 2001.....	51
10 -	Rendimentos dos motores elétricos obtidos no catálogo do fabricante e corrigidos em função da variação da amplitude da tensão e devido ao desequilíbrio na rede elétrica para sistemas do tipo pivô central operando em diferentes condições de declividade e gotejamento.....	57
11 -	Dados técnico-econômicos da substituição dos motores-padrão em uso por motores-padrão adequados à condição de carga, utilizando o manejo real praticado na fazenda, ano de 2001.....	59
12 -	Dados técnico-econômicos da substituição dos motores-padrão em uso por motores-padrão adequados à condição de carga, para o manejo simulado pelo SISDA, ano de 2001.....	61

13 - Dados técnico-econômicos da substituição dos motores-padrão em uso por motores de alto rendimento e mesma potência, para o manejo real praticado na fazenda, ano de 2001.....	62
14 - Dados técnico-econômicos da substituição dos motores padrão em uso, por motores de alto rendimento, de mesma potência, para o manejo simulado utilizando o SISDA, ano de 2001.....	63
15 - Dados técnico-econômicos da substituição dos motores-padrão em uso por motores de alto rendimento adequados à condição de carga, para o manejo real praticado na propriedade, ano de 2001.....	65
16 - Dados técnico-econômicos da substituição dos motores-padrão em uso, por motores de alto rendimento adequados à condição de carga, para o manejo simulado pelo SISDA, ano de 2001.....	66
17 - Dados técnico-econômicos da substituição dos conjuntos motobomba em uso na propriedade por outros mais adequados, para o manejo real praticado na propriedade, ano de 2001.....	68
18 - Dados técnico-econômicos da substituição dos conjuntos motobomba em uso na propriedade por conjuntos motobomba adequados, para o manejo simulado pelo SISDA, ano de 2001.....	70
19 - Características dos motores-padrão em uso na propriedade, com o manejo real, gastos com consumo e demanda de energia.....	72

20 - Características dos motores de alto rendimento adequados, com o manejo real, gastos com consumo e demanda de energia.....	73
21 - Características dos conjuntos motobomba adequados, com o manejo real, gasto com consumo e demanda de energia.....	74
22 - Características dos motores-padrão em uso na propriedade, gastos com consumo e demanda de energia, utilizando o manejo simulado pelo SISDA.....	75
23 - Características dos motores de alto rendimento adequados, gastos com consumo e demanda de energia com o manejo simulado pelo SISDA.....	76
24 - Características dos conjuntos motobomba adequados, gastos com consumo e demanda de energia elétrica, com o manejo simulado pelo SISDA.....	77
25 - Custo total médio de irrigação (R\$ ha <sup>-1</sup> ano e R\$ sc <sup>-1</sup> ano) e participação dos diversos itens (R\$ ha <sup>-1</sup> ) para produtividades de 18 a 30 sc ha <sup>-1</sup> , utilizando o manejo da irrigação real adotado na propriedade para os equipamentos avaliados, e de 30 a 50 sc ha <sup>-1</sup> , produtividade estimada com o uso dos valores simulados pelo SISDA, para os sistemas de irrigação por pivô central e gotejamento, utilizando motores-padrão.....	79
26 - Custo total médio de irrigação (R\$ ha <sup>-1</sup> ano e R\$ sc <sup>-1</sup> ano) e participação dos diversos itens (R\$ ha <sup>-1</sup> ) para produtividades de 18 a 30 sc ha <sup>-1</sup> , utilizando o manejo da irrigação real adotado na propriedade, para os equipamentos avaliados, e de 30 a 50 sc ha <sup>-1</sup> , produtividade estimada com o uso dos valores simulados pelo SISDA, para os sistemas de irrigação por pivô central e gotejamento, utilizando motores de alto rendimento adequados à condição de carga, sendo a melhor	

opção de adequação de força motriz.....	80
27 - Custo total médio de irrigação (R\$ ha <sup>-1</sup> ano e R\$ sc <sup>-1</sup> ano) e participação dos diversos itens (R\$ ha <sup>-1</sup> ) para produtividades de 18 a 30 sc ha <sup>-1</sup> , utilizando o manejo da irrigação real adotado na propriedade, para os equipamentos avaliados, e de 30 a 50 sc ha <sup>-1</sup> , produtividade estimada com o uso dos valores simulados pelo SISDA, para os sistemas de irrigação do tipo pivô central e gotejamento, utilizando conjuntos motobomba indicados como a melhor opção pelo AGRIBOMBAS (2000), como sendo melhor opção de adequação de conjunto de bombeamento.....	81
28 - Estimativa dos índices econômico-financeiros para os sistemas de irrigação por pivô central e gotejamento, para diferentes produtividades, 18 a 30 sc ha <sup>-1</sup> para o manejo real e de 30 a 50 sc ha <sup>-1</sup> para o manejo simulado, utilizando motores do tipo padrão, ano de 2001.....	86
29 - Estimativa dos índices econômico-financeiros para os sistemas de irrigação do tipo pivô central e gotejamento, para diferentes produtividades, 18 a 30 sc ha <sup>-1</sup> para o manejo real e de 30 a 50 sc ha <sup>-1</sup> para o manejo simulado, utilizando motores de alto rendimento adequados, ano de 2001.....	88
30 - Estimativa dos índices econômico-financeiros para os sistemas de irrigação tipo pivô central e gotejamento, para diferentes produtividades, 18 a 30 sc ha <sup>-1</sup> para o manejo real, e de 30 a 50 sc ha <sup>-1</sup> para o manejo simulado, utilizando conjuntos motobomba adequados, ano de 2001.....	90

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
1 - Valor médio mensal de precipitação pluvial (mm) e evapotranspiração de referência (ET <sub>o</sub> , mm), para o ano agrícola de 2001, Fazenda Vista Alegre, Jaboticatubas – MG.....	50
2 - Umidade do solo estabelecida com o manejo praticado na fazenda, no sistema de gotejamento, no ano de 2001.....	52
3 - Umidade do solo estabelecida com o manejo utilizando o SISDA, no sistema de gotejamento, ano de 2001.....	53
4 - Umidade do solo estabelecida com o manejo praticado na fazenda, no sistema de pivô central, no ano de 2001.....	54
5 - Umidade do solo estabelecida com o manejo utilizando o SISDA, no sistema de pivô central, ano de 2001.....	54
6 - Valor médio mensal de precipitação pluvial (mm), evapotranspiração de referência (ET <sub>o</sub> , mm), evapotranspiração da cultura (ET <sub>c</sub> ) para a cultura do café irrigado por pivô central e gotejamento, ano agrícola de 2001.....	55

## RESUMO

ESPINDULA NETO, Dalmácio, M. S., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2002. **Uso racional de água e de energia elétrica na cafeicultura irrigada por pivô central e gotejamento.** Orientador: Everardo Chartuni Mantovani. Conselheiros: Márcio Mota Ramos, Suely de Fátima Ramos Silveira e Delly Oliveira Filho.

Na cafeicultura irrigada, existe um grande interesse, por parte dos produtores, na determinação de métodos de manejo da água de irrigação, que possibilitem o uso mais racional da mesma, ou seja, um método que atenda de forma satisfatória às necessidades hídricas da cultura e que permitam uma redução nos custos de produção. Grande parte dos custos de produção, em sistemas de irrigação, são atribuídos aos gastos com energia elétrica. Os motores elétricos utilizados nos sistemas de bombeamento são os principais responsáveis por esses gastos. Conhecendo-se a importância da redução destes custos, o presente trabalho objetivou a racionalização do uso da água (via tensiômetro e tanque classe “A” (manejo real), comparados com manejo via simulação (SISDA 3.5)) e de energia elétrica (adequação da força motriz e de sistema de bombeamento) na cafeicultura irrigada, avaliados em sistemas de irrigação do tipo pivô central e gotejamento, localizados na Fazenda Vista Alegre, município de Jaboticatubas – MG, no ano agrícola de 2001.

Observou-se que, para o manejo da água de irrigação adotado pelo empresário durante o ano agrícola avaliado, os teores de umidade mantiveram-se em níveis considerados baixos para o bom desenvolvimento e produtividade da cultura do café, o que, de certa forma, explica as baixas produtividades alcançadas na fazenda, nos últimos anos. Na avaliação do manejo simulado com o programa SISDA, os teores de umidade mantiveram-se próximos à capacidade de campo, para o equipamento de pivô central, o que, devido às melhores condições para o desenvolvimento da cultura, possibilitou a obtenção de maiores produtividades na cultura do café. Para o equipamento de gotejamento, durante o período de maior demanda hídrica, o teor de umidade manteve-se abaixo dos valores recomendados, devido, principalmente, às limitações do equipamento, mas, ainda proporcionando melhores condições ao bom crescimento e produtividade da cultura do café. Constatou-se que a adequação de força motriz, mediante a substituição dos motores-padrão, em uso na propriedade, por motores-padrão adequados, por motores de alto rendimento de mesma potência, e por motores de alto rendimento adequados, tornou-se uma alternativa viável sob o ponto de vista técnico-econômico. Uma outra alternativa seria a substituição dos conjuntos motobombas, em uso, por conjuntos motobombas adequados às condições de projeto, podendo-se obter resultados satisfatórios quanto aos índices técnico-econômicos. Observou-se também que o número de horas de uso, recomendado para o manejo simulado, (com o uso do SISDA), foi superior ao manejo adotado na fazenda, (com o manejo real). Uma das vantagens do manejo com o SISDA seria o fornecimento de água de forma precisa e suficiente para obtenção de produtividades elevadas e competitivas. Outro fator relevante seria o gasto específico com energia hidráulica útil que, principalmente, devido à adequação dos motores e dos sistemas de bombeamento, bem como a otimização do número de horas de funcionamento de cada motor, poderia ser reduzido. Um dos principais aspectos a ser observado na avaliação da rentabilidade da cafeicultura irrigada é a produtividade. Os níveis de produtividade considerados baixos para a atividade inviabilizam a utilização da irrigação, ressaltando a importância da programação do manejo da irrigação para obtenção de maiores índices de produtividade e redução nos custos dos fatores de produção, propiciando, assim, a elevação das receitas da atividade cafeeira.



## SUMMARY

ESPINDULA NETO, Dalmácio, M. S., Universidade Federal de Viçosa, December 2002. **Rational use of water and electric power in coffee growing by using the central pivot and trickle systems.** Adviser: Everardo Chartuni Mantovani. Committee members: Márcio Mota Ramos, Suely de Fátima Ramos Silveira and Delly Oliveira Filho.

In the irrigated coffee growing, the producers are highly interested in the determination of irrigation water management methods, that may turn possible its most rational use. In other words, a method that would satisfactorily attend the water needs of this cropping, while allowing for a reduction in the production costs. In the irrigation systems, a large part of the production costs are attributed to the expenses with electric power. The electric motors used in the pumping systems are the main responsible for these expenses. Considering the importance of the reduction in these costs, the present study aimed at the rationalization in using the water (managed via tensiometer and the “A” class tank – real management, compared to the management via simulation (SISDA 3.5)), as well as the electric power (adjustment of the driving power and the pumping system) in the irrigated coffee growing, evaluated in the irrigation systems of the central pivot and trickle types, located at Vista Alegre Farm, Jaboticatubas county - MG, during the agricultural year of 2001.

In the water irrigation management adopted by the entrepreneur during this agricultural year, the contents remained at the levels considered as low ones for the satisfactory development and productivity of the coffee crop, which, on a certain way, explains the low productivities attained in the farm over the last years. In evaluating the management simulated by the SISDA program, moisture contents remained proximal to the field capacity, for the central pivot, which made possible to obtain higher coffee productivities due to the best conditions for this crop development. For the trickle equipment, over the higher water demand period, the moisture content remained below the recommended values, mainly due to the limitations of the equipment, but still providing better conditions to the satisfactory growth and productivity of the coffee crop. It was found that the adjustment of the driving power upon the replacement of the standard motors, used in the property, by adequate standard motors, by highly efficient motors with the same potency, and by adequate highly efficient motors became a viable alternative under the technical -economical viewpoint. Another alternative would be the replacement of the power pump sets under use by the power pump sets adequate to the project conditions, so turning possible to obtain satisfactory results as to the technical-economical indices. It was observed that the hour numbers of use recommended for the simulated management by SISDA was superior to the management adopted in the farm (real management). One advantage of using the SISDA management would be an accurate and sufficient supply of water to obtain high and competitive productivities. Another important factor would be the specific consumption with the effective hydraulic energy that might be reduced from the adjustment of the motors and pumping systems, besides the optimization of the number of the operating hours in each motor. One of the main aspects to be observed when evaluating the profitability of the irrigated coffee growing is the productivity. The productivity levels considered as low ones for this activity turn unviable the use of the irrigation, thus emphasizing the importance of the irrigation management program in obtaining the higher productivity indices and the reduction in the costs of the production factors, so providing the rising of the incomes from coffee activity.

## 1. INTRODUÇÃO

A cultura do café destaca-se na economia brasileira, desde o período colonial, fato este que leva à realização de pesquisas em diversos setores, principalmente as que visam maiores produtividades e melhor qualidade final.

A cultura do café depende de fatores como o tipo de solo, sombreamento, práticas de manejo e, principalmente, disponibilidade de água, dentre outros. Diferentes autores têm verificado o efeito positivo da irrigação sobre o crescimento (MATIELLO e DANTAS, 1987; ZANINI et al., 1994; SOARES, 2001) e produção do cafeeiro (REIS et al., 1990; ANTUNES et al., 2000). KARASAWA et al. (2002), estudando o efeito de diferentes épocas de irrigação sobre a qualidade da bebida do café, na região de Lavras - MG, observou a influência não só no aumento da produtividade, mas, também, na qualidade de bebida.

Vários são os equipamentos de irrigação utilizados para suprir as necessidades hídricas do cafeeiro, destacando-se aqueles inerentes aos sistemas de irrigação por gotejamento e por pivô central. Uma estimativa razoável do consumo de água pelo cafeeiro é importante, pois, um suprimento inadequado de água poderá reduzir, substancialmente, o crescimento sem que ocorra murcha ou outros sinais visíveis de déficit de umidade. Por outro lado, crescimento reduzido implica em poucos nós formados para floração e conseqüentes reduções na produção de frutos (GUTIÉRREZ & MEINZER, 1994).

No Brasil, a grande maioria dos usuários da agricultura irrigada não adota qualquer estratégia de uso e manejo racional da água de irrigação.

Apesar da disponibilidade de vários métodos de manejo, os irrigantes não têm sido receptivos a qualquer método em particular. Segundo JENSEN (1983), os principais fatores que colaboram para tal ocorrência são os baixos custos da água de irrigação, em comparação com o custo de implantação de um programa de manejo, bem como a dificuldade na identificação e quantificação da redução na produtividade devido ao atraso na irrigação, à fertilização imprópria e irrigação excessiva.

Considerando-se a preocupação crescente com a escassez de água e a necessidade premente de economia tanto de água quanto de energia, atualmente os cafeicultores defrontam-se com o desafio de continuarem a desempenhar seu importante papel socioeconômico com maior racionalidade no uso dos recursos naturais.

Nos últimos anos, observa-se uma tendência crescente para a utilização de modelos, dos mais simples aos mais sofisticados, que representem o sistema de produção agrícola, descrevendo os processos físicos e biológicos por meio de equações matemáticas. Os modelos sumarizam o conhecimento científico de acordo com sua especificidade, possibilitando o manejo da irrigação baseado numa melhor compreensão sobre as relações solo-planta-água-atmosfera (COSTA, 1997).

Portanto, a utilização de métodos de irrigação e práticas de manejo que permitam maior eficiência no uso da água e menor consumo de energia são metas imprescindíveis para a cafeicultura moderna.

Neste contexto, destaca-se o SISDA (Sistema de Suporte à Decisão Agrícola), que é um modelo desenvolvido com base na realidade da agricultura brasileira e vem sendo utilizado e testado, nas diversas regiões do País, demonstrando sua eficácia e operacionalidade na sua utilização para o manejo da irrigação.

Atualmente, face aos conflitos entre os diferentes usuários, à preocupação ambiental e à cobrança pelo uso da água, prevista na Lei das Águas (Lei 9.433 de janeiro de 1997), existe uma preocupação crescente entre os diferentes usuários da irrigação, quanto aos desperdícios gerados durante o processo produtivo.

Dados obtidos pela Centrais Elétricas de Minas Gerais - CEMIG (1993) demonstram que, se a irrigação fosse utilizada de forma racional, aproximadamente 20% da água e 30% da energia consumidas poderiam ser

economizadas. Esta energia poderia ser economizada tanto devido à aplicação desnecessária de água (20%) quanto pelo redimensionamento e otimização dos equipamentos utilizados para irrigação (10%).

A implantação de programas de conservação e uso racional de energia elétrica visando à sua economia é importante, visto que o consumo de eletricidade vem apresentando taxas de crescimento significativas e, conseqüentemente um aumento relativo nas despesas das diversas classes de consumidores.

Em geral, os sistemas de irrigação por pivô central e gotejamento, caracterizam-se pelo bombeamento da água em condições de carga variável, isto é, a solicitação de carga no eixo do motor muda de acordo com a variação na altura geométrica. Quando há variações na solicitação de carga do motor, ocorre alteração no rendimento do motor elétrico. Muitas vezes este problema pode ser minimizado, otimizando-se a condição de funcionamento dos motores. Esta otimização pode ser feita por meio da maximização do número de horas anuais de funcionamento, adequação de força motriz, utilização de motores de alto rendimento, etc. O correto dimensionamento dos motores elétricos pode acarretar uma economia de cerca de 27,8 % no consumo de energia, em áreas irrigadas com pivô central (PROCEL, 1996). Estima-se que a cafeicultura irrigada brasileira ocupa, atualmente, uma área aproximada de 200.000 hectares (MANTOVANI, 2002); portanto, neste setor, verifica-se grande potencial de economia tanto de demanda quanto de consumo de energia elétrica.

Torna-se evidente a necessidade de adoção de medidas no sentido de aumentar a eficiência do processo de operação de motores, possibilitando gerar uma considerável economia de energia, que resultará em benefícios para os usuários e para o País. Para os usuários e a sociedade brasileira, os benefícios reverter-se-ão em redução nos custos de produção, gerando lucros. Para o País os benefícios refletem-se na redução da demanda de investimentos em geração de energia elétrica.

Considerando o custo de produção da cafeicultura irrigada, as despesas relativas à energia elétrica representam cerca de 70 % das despesas totais com a irrigação (MELO, 1993). Este custo pode ser reduzido por meio do dimensionamento e da utilização de equipamentos adequados especialmente bombas e motores elétricos.

Na determinação do custo de utilização de um motor, não apenas os investimentos iniciais devem ser considerados, mas, também, os custos de operação durante toda a vida útil desse motor. Observando-se as curvas características de um motor, verifica-se que quanto menor for a utilização de todo o seu potencial, menor será seu rendimento e fator de potência.

A adequação de força motriz combinada à utilização de motores de alto rendimento é uma prática recente, pois somente em 1990 os fabricantes começaram a produzir motores eficientes. A utilização desses motores ainda é baixa, devido, principalmente, ao custo de aquisição que, em geral, chega a ser até 40% superior aqueles do tipo convencional (SOARES e TABOSA, 1996). Entretanto, este quadro deve ser revertido, principalmente por que seus custos efetivos são inferiores (US\$ 0,015 a 0,025 por kWh) e também devido a uma possível equiparação dos preços desses motores (SOARES et al., 1996).

O processo de adequação de força motriz, considerando-se vários motores, envolve, para cada um deles, a análise técnica de seu funcionamento e a análise econômica das possibilidades de troca.

É importante afirmar que se entende por troca não somente o uso de motores novos e adequados à condição de carga do tipo padrão ou de alto rendimento, mas também o possível remanejamento de motores em uma instalação, e o fato de algumas concessionárias terem programas de incentivo ao uso de motores eficientes.

Face ao aumento da competitividade no setor cafeeiro e, principalmente, à instabilidade de preços obtidos pelo produto final, torna-se necessário minimizar os custos de produção e, também, aumentar sua produtividade.

A agricultura irrigada exige alto investimento em obras e aquisição de equipamentos para captação, condução, controle e distribuição da água, além de gastos com energia elétrica e mão-de-obra para operação e manejo dos sistemas, que representam importantes custos adicionados à produção. Neste contexto, torna-se necessário identificar os custos relacionados ao sistema de irrigação adotado, assim como os reais benefícios que poderão ser alcançados.

A análise econômica da irrigação é fundamental para subsidiar o agricultor na forma de seu processo de tomada de decisão, conforme constatado em vários estudos empíricos.

Visando investigar e obter novos dados sobre o manejo da irrigação e realizar análise econômica sobre questões relativas à utilização da água e

energia elétrica na cafeicultura irrigada, o presente trabalho tem os seguintes objetivos:

**Geral:**

Avaliar aspectos econômicos de utilização de água e de energia elétrica na cafeicultura irrigada por pivô central e gotejamento, para a região de Jaboticatubas - MG, no ano agrícola de 2001.

**Específicos:**

- Comparar o volume de água aplicado e a energia elétrica consumida pelos sistemas de irrigação estudados em condições de campo (manejo real), com valores simulados pelo modelo SISDA.
- Avaliar a redução no rendimento dos motores elétricos, para os sistemas estudados, conseqüente à variação da amplitude e ao desequilíbrio da tensão na rede elétrica;
- Avaliar a viabilidade técnica e econômica da racionalização de energia elétrica em sistemas de irrigação do tipo pivô central e gotejamento, via adequação de uso de força motriz e adequação dos conjuntos motobomba.
- Avaliar, comparativamente, a rentabilidade do cafeeiro irrigado por pivô central e gotejamento, para o manejo real da irrigação, praticado na fazenda comparado com a recomendação do SISDA e da adequação de força motriz e do sistema de bombeamento.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Irrigação na cultura do café**

O uso da prática de irrigação em cafezais tem crescido bastante nos últimos anos, devido às dificuldades climáticas observadas em muitas regiões cafeeiras do País, decorrentes do plantio de café em zonas consideradas marginais e, ainda, em função de certas mudanças nas temperaturas e distribuições pluviais, que tornam o clima mais seco em regiões que, anteriormente, não apresentavam problemas significativos de suprimento de água para o cafeeiro.

Segundo SANTINATO (1996), na cafeicultura, embora os primeiros trabalhos experimentais realizados no Instituto Agronômico de Campinas datem a partir de 1946, somente após 1984 é que começaram a tomar vulto, em conseqüência da invasão de áreas consideradas marginais à cultura quanto ao parâmetro climático de déficit hídrico. Hoje, a cultura do café irrigada abrange 200.000 hectares, apresentando um crescimento elevado a cada ano.

Muitas vantagens têm sido atribuídas à aplicação de irrigação na cultura do café, tais como a criação de um ambiente mais favorável à produção e ao desenvolvimento do cafeeiro, além da redução de riscos e da possibilidade de utilização de algumas áreas climaticamente marginais à cultura, obtendo-se, assim, maiores produtividades e rentabilidade.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (2001) apresenta uma classificação da produtividade média alcançada na cafeicultura, para diferentes regiões do estado de Minas Gerais, que pode ser observada no



Quadro 1.

Quadro 1 - Valores do parque cafeeiro (mil covas), área (ha), produção (mil sacas beneficiadas) e produtividade média (sacas ha<sup>-1</sup>), para as diferentes regiões do estado de Minas Gerais (2001)

UF/Região	Parque cafeeiro				Produção			Produtividade (sacas ha <sup>-1</sup> )
	em formação		em produção		(mil sacas beneficiadas)			
	área	cafeeiros	área	cafeeiros	Arábica	Robusta	Total	
	(ha)	(mil covas)	(ha)	(mil covas)				
Minas Gerais	164.900	679.000	891.100	2.287.000	12.700	40	12.740	14.30
Sul/Oeste	95.600	407.000	473.400	1.203.000	6.200	----	6.200	13.10
Triângulo/Alto Paranaíba	22.500	105.000	140.700	459.000	2.900	----	2.900	20.61
Zona da Mata/Jequitinhonha	46.800	167.000	277.000	625.000	3.600	40	3.640	13.14

Fonte: EMBRAPA (2001).

Para a cafeicultura irrigada, valores limites de produtividades alcançadas para a cultura sob irrigação, ainda não foram determinados de uma maneira precisa, sendo necessário estudos relacionados ao tema, propiciando, com isso, um entendimento melhor com relação ao emprego das técnicas de irrigação adotadas na cafeicultura. Pela experiência e observações realizadas em diferentes regiões do país, alguns pesquisadores do Departamento de Engenharia Agrícola – DEA, da Universidade Federal de Viçosa - UFV, adotam a seguinte classificação com relação aos diferentes níveis de produtividades alcançados com a adoção da irrigação na cafeicultura, e estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Diferentes classificações dos níveis de produtividades alcançados com a cafeicultura irrigada (sacas beneficiadas ha<sup>-1</sup>), ano agrícola de 2002

Classificação	Níveis de produtividade alcançados (sacas beneficiadas ha <sup>-1</sup> )
Muito Baixa	< 20
Baixa	≥ 20 e < 30
Média	≥ 30 e < 40
Alta	≥40 e < 60
Ótima	> 60

Fonte: MANTOVANI (2002).

Os valores apresentados no Quadro 2, são considerados médios, e adotados como referência, podendo ocorrer mudanças nos mesmos, dependendo da região em que se está analisando, condições de clima, solo, nutrição, espaçamento de cultivo, equipamento de irrigação utilizado, condições de manejo da água no solo e do preço de comercialização do produto, sendo, portanto, necessário a realização de estudos que venham a precisar melhor estes valores.

ANTUNES et al. (2000) apresentaram resultados comparativos de produtividade de cafeeiro não-irrigado, irrigado e fertirrigado para as safras de 1998 até 2000, encontrando aumentos de 66% e 123% nas áreas irrigadas e irrigada-fertirrigada, respectivamente, se comparados aos tratamentos não-irrigados. FARIA et al. (2000), estudando os efeitos de diferentes lâminas de irrigação sobre a produtividade do cafeeiro, na região sul de Minas Geral, obteve aumentos em produtividade da ordem de 25 a 54%. Resultados semelhantes foram encontrados por SOARES (2001).

MATIELLO (1991), indicou a deficiência hídrica como sendo um dos fatores principais, que afetam a produtividade do cafeeiro, principalmente na fase de frutificação.

Como a utilização da irrigação em escala comercial, na cafeicultura, é um fato recente, torna-se necessário pesquisar, analisar e reavaliar várias técnicas de produção utilizadas nos sistemas de produção, que utilizam esta

técnica.

Informações relacionadas à viabilidade econômica da produção de café, em condição irrigada, são escassas e incompletas. Atualmente, os pesquisadores têm se esforçado no sentido de buscar informações confiáveis, com uma visão integrada do processo, em que são considerados diversos anos, condições edafoclimáticas e sistemas de irrigação. A produtividade do cafeeiro (sacas beneficiadas ha<sup>-1</sup>), bem como as rentabilidades do investimento, são os parâmetros de produção mais importantes a serem utilizados na comparação do desempenho de diferentes tratamentos, relacionados não apenas à nutrição do cafeeiro, mas, também, pragas, plantas daninhas, variedades, espaçamentos adequados e irrigação.

## **2.2. Manejo da irrigação**

Uma irrigação não pode e não deve ser entendida, única e exclusivamente, como um procedimento artificial para atender às exigências de umidade de solo, visando à melhoria da produção agrícola, tanto em quantidade quanto em qualidade. Na realidade, ela constitui um conjunto de operações (compondo um sistema) necessário tanto para atender às necessidades hídricas das plantas, quanto para eliminar os excessos que transcendem à relação solo-água-planta, pura e simplesmente. Aqui, agregam-se o clima, o meio ambiente e o homem, reunindo vários campos do conhecimento de modo abrangente e interdisciplinar.

O manejo racional de qualquer projeto de irrigação deve considerar os aspectos sociais e ecológicos envolvidos, procurar maximizar a produtividade e a eficiência do uso da água, bem como minimizar os custos, com mão-de-obra e, ou capital, mantendo as condições de umidade do solo favoráveis ao bom desenvolvimento da cultura irrigada. Além disso, é necessário que o projetista tenha em mente a necessidade de melhorar ou, no mínimo, manter as condições físicas, químicas e biológicas do solo, o que afetará bastante a vida útil do projeto (BERNARDO, 1996).

A irrigação na cafeicultura é uma técnica que vem sendo utilizada há muitos anos, mas só recentemente, a partir da década de 90, vem se expandindo em diversas regiões brasileiras (MANTOVANI, 2000).

Estimativas da EMBRAPA (1999), citado por MANTOVANI (2000) indicam um parque cafeeiro brasileiro composto de cerca de 2,2 milhões de hectares, sendo 85 % em produção e 15 % em formação. Deste montante, levantamentos preliminares estimam que cerca de 200 mil hectares são irrigados e concentrados, principalmente, nos estados do Espírito Santo, Minas Gerais e Bahia. Estes valores indicam que a cafeicultura irrigada ocupa cerca de 10 % da área plantada com a cultura do café e 8,7 % da área irrigada no País.

Em geral, o manejo da irrigação vem sendo feito de forma empírica, pelo produtor rural, tendo, como conseqüência, um aumento nos custos de produção. Dentre as possíveis causas, destaca-se o uso de água tanto em excesso quanto em falta, acarretando prejuízos ao produtor rural por refletir na rentabilidade e produtividade.

Atualmente, existem várias metodologias para determinar os parâmetros técnicos para o manejo da irrigação. Um maior destaque é dado aos sistemas que, com simplicidade e funcionalidade, estimam o consumo de água pelas culturas, ou seja, a evapotranspiração.

O tensiômetro e a evaporação medida no tanque classe “A” são métodos utilizados no manejo de água na irrigação, podendo ser considerados tradicionais para este tipo de manejo. Estes métodos apresentam limitações em termos de amostragem e representatividade da área, para o tensiômetro, e de manejo intensivo do uso da irrigação para o tanque classe “A”.

ALLEN et al. (1989), trabalhando com a evaporação medida no tanque classe “A”, obtiveram resultados insatisfatórios, comparativamente aos dados obtidos de lisímetro de precisão e outros métodos, em várias localidades do mundo. Os pesquisadores classificaram este método de modo inadequado, ao compará-lo com os principais métodos. No Brasil, este comportamento também foi observado por MANTOVANI e MEDEIROS (1995), em pesquisas realizadas em Viçosa (MG).

Outros equipamentos utilizados no manejo da irrigação são os tensiômetros, que medem a tensão (força) com que a água é retida pelo solo, a qual afeta diretamente a absorção de água pelas plantas. Ele propicia, diretamente, a leitura da tensão de água no solo e, indiretamente a determinação da percentagem de água no solo. O sistema considerado para o

manejo da irrigação é função das características do solo (DOORENBOS e PRUITT, 1977; BERNARDO, 1996; PEREIRA et al., 1997).

Entretanto, estes equipamentos só têm capacidade para leituras de tensão até 0,75 atm. Se usado para tensões superiores a esta, o ar entra nos poros na cápsula de cerâmica e o tensiômetro pára de funcionar. Assim, ele estima somente uma parte da “água útil” do solo. Em solos arenosos, o tensiômetro estima cerca de  $\pm 70 \%$  da “água útil”, e em solos argilosos  $\pm 40 \%$ , podendo, conseqüentemente, gerar grandes erros, ocasionando um manejo incorreto da irrigação (BERNARDO, 1996).

O reconhecimento da complexidade envolvida no manejo de água em irrigação e o tratamento, cada vez mais sofisticado, que vem sendo dado às variáveis envolvidas no sistema solo-planta-atmosfera, têm ocasionado, nos últimos anos, uma tendência à mudança nos métodos utilizados para o manejo de água na irrigação. Assim, tem sido observada uma convergência crescente da utilização de modelos agrometeorológicos, na determinação das relações água-solo-planta-atmosfera (COSTA, 1997).

A utilização de modelos permite economia de tempo, de recursos financeiros e humanos (HOOD et al., 1987). Apesar de os modelos já terem demonstrado sua importância como instrumentos de pesquisa, bem como seu potencial para aplicações práticas no planejamento e manejo de práticas agrícolas, poucos estudos, principalmente no Brasil, têm sido desenvolvidos no sentido de se avaliar o seu uso como ferramenta auxiliar no manejo e, ou planejamento de sistemas de irrigação (HILL et al., 1982 e JONES, 1991).

PRAJAMWONG et al. (1997), desenvolveram um modelo para estimar o requerimento de água pelas culturas e estudar as opções de manejo das áreas irrigadas. Para validação e calibração do modelo foram utilizados dados climatológicos, padrão das culturas e simuladas as condições de campo. Os resultados obtidos com a aplicação do modelo mostram uma boa correlação com os dados medidos no campo, para a região de Utha e Tailândia. Portanto, este modelo é indicado para o manejo da água de irrigação.

HILL et al. (1982) e JONES (1991) descrevem uma série de modelos de simulação das culturas, que podem ser usados para estudos relacionados à irrigação.

Os modelos de programação de irrigação podem ser divididos em três grupos:

- os que se baseiam no conhecimento do estado hídrico do solo, ou seja, no manejo da água útil do solo ( $\Delta W$ ) e do nível de esgotamento permissível;
- os que se baseiam no conhecimento do estado hídrico da planta, seja de forma direta ou indireta; e
- os que se baseiam na análise do sistema água-solo-planta-atmosfera.

Tais modelos computacionais, que se baseiam na análise água-solo-planta-atmosfera, são dinâmicos e funcionais, pois descrevem mudanças periódicas nas variáveis da cultura e consideram, embora de forma simplificada, os principais processos morfofisiológicos que ocorrem na cultura. Alguns exemplos de tais modelos são: CERES (INTERNATIONAL-IBSNAT, 1989); SIMIS (VANDEN BULCKE et al., 1996); CropWat (CLARKE et al., 1998); e SISDA – Sistema de Suporte à Decisão Agrícola (COSTA, 1997).

### **2.3. Sistema de suporte à decisão agrícola (SISDA)**

O manejo adequado de água na agricultura não pode ser considerado uma etapa independente dentro do processo de produção agrícola, devendo ser analisado dentro do contexto de um sistema integrado. Deve considerar, também, o compromisso com a produtividade da cultura explorada e o uso eficiente da água, o que contribuirá para a conservação do meio ambiente.

Neste contexto, considerando a necessidade de uma utilização mais eficiente da água, o SISDA é um modelo para monitoramento do manejo de água na irrigação, que visa dar sustentabilidade à irrigação em áreas agrícolas. O SISDA possibilita o uso eficiente dos recursos operacionais utilizados em irrigação e otimiza o uso eficiente de água em lavouras irrigadas (CARDOSO et al., 1998).

Alguns trabalhos têm demonstrado efeitos positivos, em termos de crescimento e produtividade na cultura do café, com a utilização do SISDA no manejo da irrigação no Brasil. Por exemplo, SCALCO et al. (2002) estudaram a influência de diferentes tensões máximas da água no solo e densidades de plantio (2.500, 3.333, 5.000, 10.000 e 20.000 plantas por hectare), adotaram-se cinco critérios para início das irrigações (-20 kPa, -80 kPa, -140 kPa, -200 kPa,

leituras realizadas em tensiômetro e bloco de poros), balanço hídrico com base no software SISDA<sub>3,5</sub> e uma testemunha sem irrigação, para a região de Lavras-MG. O maior desenvolvimento vegetativo das plantas foi alcançado nos tratamentos irrigados conforme as recomendações do software SISDA.

Analisando comparativamente métodos tradicionais de manejo de irrigação e o SISDA (estudo de caso), para a região do Norte de Minas, BOARETTI (2001), concluiu que, a utilização do programa SISDA poderia proporcionar uma redução nos custos médios e nos custos totais e aumento na lucratividade. Foi gerada uma economia de 9,8 a 49,4 %, para o fator água, e 7,5 a 38,5 % para o fator energia elétrica, contribuindo, portanto, para a racionalização dos recursos produtivos dos sistemas de irrigação, além de aumentar a eficiência econômica do processo produtivo.

O SISDA foi desenvolvido com base no princípio que as atividades agrícolas devem ser analisadas de forma integrada, ou seja, o programa parte da pressuposição que o sistema produtivo é o resultado de uma complexa e contínua interação entre a planta e o ambiente. Dentro deste princípio, o modelo considera, em sua concepção, aspectos de agrometeorologia, irrigação, solos, fitotecnia e fitopatologia. O SISDA tem como base o manejo e a simulação. No módulo manejo, objetiva-se à condução da cultura em tempo real, ou seja, considera-se uma cultura que está sendo explorada. O sistema orienta o usuário sobre quando e quanto irrigar, diminuindo as chances de perdas de recursos produtivos decorrentes de aplicações desnecessárias e perdas de produtividade devido a irrigações deficitárias. Na simulação, o usuário define as condições a serem simuladas e o sistema gera uma base de dados correspondentes ao consumo de água, déficit de água e duração do ciclo da cultura, que são de grande importância para o planejamento das atividades agrícolas (COSTA et al., 1997).

A utilização do SISDA visa oferecer ao agricultor, extencionista, técnico, pesquisador, ou qualquer pessoa envolvida nas atividades agrícolas o ferramental técnico necessário ao processo de tomada de decisão, objetivando o uso dos recursos envolvidos no processo de manejo da irrigação (MANTOVANI et al., 1997). Atualmente é utilizado amplamente na cafeicultura de todo País, proporcionando ao produtor, maior precisão e operacionalidade no manejo da irrigação.

## **2.4. Escassez de água e energia elétrica**

### **2.4.1. Escassez de água**

A água é um bem cada vez mais escasso tanto em quantidade quanto em qualidade. Portanto, seus principais usuários, os agricultores, vêem-se obrigados a usá-la com a maior eficiência possível, dentro das considerações econômicas que toda atividade produtiva requer (RODRIGO LÓPEZ et al. 1992).

A agricultura irrigada é a atividade humana que demanda maior quantidade total de água. Em termos mundiais, estima-se que este uso responde por cerca de 80 % das derivações de água, sendo que, no Brasil, esse valor supera os 60 % (Fundação Getúlio Vargas - FGV, 1998, citado por LIMA, 2002). As áreas irrigadas são responsáveis por 40 % da produção mundial de alimentos (FAO, 2002).

A ausência de planejamento no uso de água pode ocasionar conflitos. A escassez de água constitui um problema expressivo, em diversas regiões do estado de Minas Gerais e do País. Sem dúvida, haverá pressão para que a irrigação seja conduzida com maior eficiência e o mínimo impacto ao meio ambiente, notadamente em relação à disponibilidade e qualidade da água para os múltiplos usuários. Todos os esforços, portanto, devem ser direcionados no sentido de minimizar tais conflitos, ou seja, diminuir a demanda através da utilização do manejo racional do uso da água na irrigação.

### **2.4.2. Escassez de energia elétrica**

A industrialização e o crescimento econômico, associados às crescentes inovações tecnológicas dos últimos anos, vêm aumentando, substancialmente, a demanda e o acesso à energia. Entretanto, nas últimas décadas, houve decréscimo substancial nos investimentos em programas de gerenciamento do lado do suprimento (GLS). Projeção feita por BRASIL (1996) indicou que, para atender à crescente demanda de energia até o ano de 2015, será necessário quase que uma duplicação da oferta de energia, elevando os níveis de oferta anuais entre 700 e 1500 TWh, aproximadamente. Segundo Brasil (1996),



citado por TANABE e OLIVEIRA FILHO (1998), este fato acarretará, aos cofres públicos, despesas da ordem de US\$ 270 bilhões em investimentos.

Atualmente no Brasil, a conservação de energia elétrica vem sendo bastante incentivada, em decorrência do problema da escassez de energia elétrica. O sistema elétrico brasileiro vem operando próximo aos limites de segurança e acredita-se na possibilidade de faltar energia, no País, nos próximos anos.

O Brasil apresenta-se como um dos maiores produtores e exportadores de alimentos, sendo a agropecuária responsável por grande parte da formação do produto nacional bruto. Dentre as técnicas usadas para aumento da produtividade, destaca-se a irrigação, sendo que a sua utilização possibilitou incremento de até 400% no total produzido (BERNARDO, 1996).

Segundo valores obtidos em trabalho realizado pela Centrais Elétricas de Minas Gerais (CEMIG, 1993), o consumo médio anual de energia de uma área de um hectare irrigada é de 2.770 kWh. Portanto, no Brasil, o consumo de energia elétrica para irrigação pode ser estimado em 7.700 GWh ano<sup>-1</sup> (0,9 GW), que correspondem a 1,40 % da capacidade instalada de geração hidráulica no País (63,3 GW).

A irrigação é considerada uma técnica que, em geral, demanda grande quantidade de energia. O principal desafio atual da agricultura irrigada brasileira é desenvolver técnicas e métodos de engenharia para efetivar as práticas concernentes à economia de energia elétrica, visando o gerenciamento do lado da demanda (GLD), incluindo o dimensionamento, a operação e o manejo dos sistemas de irrigação.

Análises realizadas anteriormente, por PINHEIRO (1989), envolvendo vários programas de conservação de energia, mostraram que a adequação de força motriz foi à alternativa de racionalização de energia que apresentou as maiores taxas internas de retorno.

A adequação de força motriz, combinada à utilização de motores de alto rendimento, é uma prática recente, pois, somente em 1990 é que os fabricantes começaram a produzir motores eficientes. Em 1996, os modelos de alto rendimento representaram, aproximadamente, 1 % do total de motores de indução trifásicos vendidos no Brasil (GELLER et al., 1997). Atualmente, este índice ainda apresenta-se baixo, principalmente porque, em relação ao mercado, os modelos eficientes fabricados no Brasil têm custos 40 %

superiores, em média, aos do tipo comum (SOARES e TABOSA, 1996). Todavia, os motores eficientes têm custos efetivos inferiores, quando avaliados pelo valor da energia economizada, da ordem de 0,015 a 0,025 US\$ kWh<sup>-1</sup> (SOARES et al., 1996).

### Estrutura tarifária

Estrutura tarifária é o conjunto de tarifas aplicáveis às componentes de consumo de energia elétrica e, ou demanda de potência ativas, de acordo com a modalidade de fornecimento, segundo a Centrais elétricas de Minas Gerais (CEMIG, 2001). Os consumidores que se enquadram na estrutura tarifária horo-sazonal, caracterizam-se pela aplicação de 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, conforme especificações adotadas pela própria CEMIG.

- a) Tarifa Azul - modalidade estruturada para aplicações 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.
- b) Tarifa Verde - modalidade estruturada para 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 única tarifa de demanda de potência.

São considerados consumidores do grupo "A", aqueles pertencentes ao grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou, ainda, atendidas em tensão inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição, e faturadas neste grupo nos termos definidos no art. 82, caracterizado pela estruturação tarifária binômia e subdividido nos seguintes subgrupos:

- Subgrupo A1 - tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV;
- Subgrupo A2 - tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV;
- Subgrupo A3 - tensão de fornecimento de 69 kV;
- Subgrupo A3a - tensão de fornecimento de 30 a 44 kV;
- Subgrupo A4 - tensão de fornecimento de 2,3 a 25 kV; e
- Subgrupo AS - tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição e faturadas neste Grupo em caráter opcional.

São considerados consumidores do grupo “B”, aqueles pertencentes ao grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, ou, ainda, atendidas em tensão superior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição e faturadas neste grupo nos termos definidos nos arts. 79 e 81, caracterizado pela estruturação tarifária binômia e subdividido nos seguintes subgrupos:

- Subgrupo B1 – residência;
- Subgrupo B1 – residência baixa renda;
- Subgrupo B2 – rural;
- Subgrupo B2 – cooperativa de eletrificação rural;
- Subgrupo B2 – serviço público de irrigação;
- Subgrupo B3 – demais classes; e
- Subgrupo B4 – iluminação pública.

## **2.5. Estimativa do carregamento e rendimento dos motores elétricos utilizados na irrigação**

Em trabalhos de auditoria energética que visam à adequação de força motriz, torna-se necessária à aquisição de dados que possibilitem quantificar os benefícios técnicos e econômicos desse programa de gerenciamento do lado da demanda (GLD). Para tal, é necessário que sejam determinados o índice de carregamento e o rendimento dos motores. Estes parâmetros elétricos são estimados por meio da medição, em condições de trabalho, de pelo menos uma das seguintes características dos motores elétricos:

(i) correntes de fase; (ii) fator de potência das fases; e (iii) potência elétrica útil.

CAMPANA (2000) em estudo comparativo dos métodos indiretos para estimativa do carregamento e rendimento de motores elétricos utilizados em sistemas de irrigação, concluiu que a determinação do rendimento por meio da medição da corrente elétrica é a mais utilizada por ser a mais simples e apresentar resultados satisfatórios.

## **2.6. Influência da rede elétrica na operação de motores elétricos**

Motores elétricos são equipamentos que, dentro de certos limites técnicos, fornecem a quantidade de energia mecânica demandada pela carga (FITZGERALD et al. 1977; DORF, 1993). Isto significa que mesmo quando o rendimento do motor é insatisfatório, seu funcionamento poderá ser otimizado. Dentre os fatores que afetam o desempenho dos motores elétricos, cita-se o dimensionamento incorreto, o desequilíbrio entre fases e a variação da tensão de alimentação em relação à nominal, (PROCEL, 1998).

Segundo a NBR 7094, um sistema trifásico é considerado praticamente equilibrado quando a componente de seqüência zero não excede 1 % da componente de seqüência positiva e a componente de seqüência negativa não excede 1 % da componente de seqüência positiva, por um período prolongado, ou a excede 1,5 vezes durante um período curto não superior a alguns minutos.

Nos motores operando vazios e a plena carga, um desequilíbrio da ordem de 2,5 % entre cargas, causou desequilíbrio de corrente em média de 35 % e 20 %, respectivamente (PROCEL, 1998).

Segundo o PROCEL os principais fatores afetados pelo desequilíbrio de tensão são: (a) redução da eficiência; (b) redução do conjugado disponível de carga; (c) redução do fator de potência; (d) aumento da temperatura; e (e) redução da vida útil. Estudos já demonstraram que um pequeno desequilíbrio de 3,5 % na tensão pode aumentar as perdas de motor em 20 %. Um desequilíbrio de 5 %, ou mais, pode diminuir significativamente a vida útil do motor.

Portanto, é necessário avaliar o desequilíbrio entre fases para determinação indireta do rendimento de máquinas elétricas.

## **2.7. Avaliação da adequação de força motriz**

Segundo CAMPANA (2000), para avaliação da adequação de força motriz, deve-se medir ou estimar o rendimento do motor elétrico em condição de carga. A medida direta do rendimento de motores, em funcionamento, nem sempre é uma tarefa simples, pois, requer equipamentos caros e sofisticados como células de carga e bancadas de teste específica. Geralmente, em auditorias energéticas, a avaliação do rendimento é feita de forma indireta. Dentre os parâmetros que podem ser considerados para adequação de força motriz, citam-se: (a) potência nominal; (b) índice de carregamento; e (c) rendimento. Nesses casos, a avaliação do índice de carregamento e, por consequência, do rendimento é feita por meio das curvas características dos motores.

O processo de adequação de força motriz, considerando-se vários motores, envolve, para cada um deles, a análise técnica de seu funcionamento e a análise econômica das possibilidades de troca.

### **2.7.1. Análise técnica da adequação de força motriz**

A análise técnica baseia-se nos valores de rendimento e de índice de carregamento do motor, proporcionando uma avaliação do consumo anual de energia, custos da manutenção, consumo de energia e da demanda de potência, apresentados pelo motor dentro de um determinado horizonte de planejamento.

O rendimento do motor pode ser estimado de três modos:

- Medindo-se a corrente elétrica do estator;
- Medindo-se o fator de potência; e
- Medindo-se a potência útil.

O modo mais utilizado para a determinação do rendimento consiste na medição da corrente elétrica, por ser a mais simples (CAMPANA, 2000). Neste caso, de posse dos dados de corrente elétrica do motor, trabalhando a plena carga, e de seus dados de placa, determina-se o índice de carregamento por

meio da curva característica de corrente com este índice, determina-se o rendimento por meio da curva característica de rendimento (WEG, 2001).

Em geral, os sistemas de irrigação caracterizam-se pelo bombeamento de água em condições de carga variável, isto é, a solicitação de carga no eixo do motor muda de acordo com a variação na altura geométrica. Quando há variação na solicitação de carga, ocorre alteração no rendimento do motor elétrico. Este problema pode, muitas vezes, ser minimizado pelo uso de válvulas reguladoras de pressão, inversores de frequência bem como pela adequação de força motriz e dimensionamento correto da bomba.

Devido à extensa área hoje ocupada pela cafeicultura irrigada, pode-se prever um grande potencial de economia de energia e de água para os sistemas de irrigação do tipo pivô central e gotejamento. Esta economia ocorre tanto no consumo quanto na demanda de energia elétrica.

### **2.7.2. Análise econômica da adequação de força motriz**

A análise econômica inicia-se com a construção do fluxo de caixa para os motores existentes e para os motores envolvidos em possibilidades de troca. O fluxo de caixa representa as contribuições monetárias (entradas e saídas de dinheiro), ao longo do período equivalente ao horizonte de planejamento, em que são computados os seguintes itens:

- a) gastos com consumo - dependem do consumo anual de energia e dos custos unitários de energia no horário fora-de-ponta e noturno e demanda de energia elétrica, da potencia nominal, do índice de carregamento e rendimento dos motores;
- b) custo de manutenção - fornece o valor a ser pago pela manutenção do motor, incluindo reparos e trocas de peças; normalmente, adota-se um valor de 2 % do valor inicial do motor; e
- c) depreciação - é um meio contábil de distribuição dos custos de um determinado bem de capital, ao longo de sua vida útil, de maneira sistemática e racional. Para máquinas, a vida útil aceita pela receita federal é de 10 anos. Existem diversas

formas sistemáticas para considerar a depreciação de um investimento, sendo que o método da depreciação linear é o mais simples e aceito pela receita federal.

A análise econômica é incremental, ou seja, avalia a diferença entre o capital envolvido em dois projetos (CAMARGO, 1998). Este tipo de análise é realizado para evitar incoerências entre os resultados dos índices econômicos (Valor presente líquido e Taxa interna de retorno). Portanto, a viabilidade de cada opção de troca é analisada por meio do fluxo de caixa líquido, que é a diferença entre o fluxo de caixa líquido para cada motor candidato à troca e o fluxo de caixa do motor existente (FRIZZONE e SILVEIRA, 2000). De acordo com essa diferença, é possível determinar os valores referentes aos índices econômicos, que determinarão a viabilidade real do investimento.

A análise econômica de vida útil segundo CAMARGO (1998), geralmente, considera os seguintes indicadores para análise da viabilidade do investimento:

- Valor presente líquido (VPL);
- Taxa interna de retorno (TIR);
- Relação benefício-custo (RBC);
- Tempo de retorno de capital (TRC).

#### Valor presente líquido

O valor presente líquido (VPL) corresponde à soma algébrica dos valores presentes envolvidos no fluxo de caixa, ou seja, é a soma dos desembolsos e receitas de um investimento, referentes ao instante inicial. Como a análise econômica realizada neste trabalho é uma análise incremental, o VPL será calculado, baseando-se no fluxo de caixa líquido. Isso significa que a troca de um motor, em uso, por outro será viável, se o VPL for maior que zero. No caso de duas opções de troca viáveis, aquela que apresentar o maior VPL é considerada melhor.

## Taxa interna de retorno

A taxa interna de retorno (TIR) é a taxa de juros que torna nulo o VPL, ou seja, a taxa para a qual a soma dos benefícios torna-se igual à soma dos custos. Na análise incremental, a TIR é exatamente o valor de juros em que a viabilidade da troca passa a ser inviável. Por esta razão, para que uma opção de troca seja viável, a TIR deverá ser maior que a taxa de juros considerada na análise. No caso de duas opções viáveis, deve ser considerada melhor aquela que apresentar maior TIR.

Existem casos em que a TIR não converge. Isto acontece quando o VPL é sempre positivo ou sempre negativo, mesmo modificando-se o valor da taxa de desconto. Nestes casos, a TIR não pode ser considerada como parâmetro para determinar a viabilidade do investimento.

## Relação benefício-custo

A relação benefício-custo (RBC) é definida como o quociente entre a soma dos benefícios e dos custos, descontados pela taxa de juros adotada. Quando a opção de troca apresenta necessidade de investimento e o fluxo de caixa líquido apresenta perdas ao longo do horizonte de planejamento, a RBC não converge. Isto acontece, também, quando a opção de troca gera um lucro inicial e o fluxo de caixa líquido apresenta ganhos ao longo do horizonte de planejamento. Quando a RBC não converge, não poderá ser considerada como parâmetro na avaliação da opção de troca considerada. Quanto maior a relação benefício-custo maior será a viabilidade da troca. A opção de troca será considerada viável caso  $RBC > 1$ .

## Tempo de retorno do capital

O tempo de retorno de capital (TRC) é o tempo necessário para que o valor do investimento na troca do motor seja recuperado. No caso de o fluxo líquido avaliado apresentar valores de investimento e benefícios com sinais iguais e positivos, ou investimento inicial positivo (em que o sinal positivo



representa ganho), conclui-se que o retorno de capital, na opção em questão, é imediato. Caso contrário, o cálculo do TRC divide-se em anos e meses, em que o investimento inicial será recuperado.

## **2.8. Avaliação da adequação do sistema de bombeamento**

A adequação dos conjuntos motobombas pode ser feita por meio do software AGRIBOMBAS (2000), em que são adotadas as mesmas condições especificadas no projeto. O programa realiza a seleção e indica a melhor opção quanto à bomba e motor. Dentre as vantagens do uso do programa, destacam-se: (i) facilidade de uso; (ii) a seleção da bomba mais indicada é feita entre os catálogos eletrônicos de cinco fabricantes de bombas, possibilitando, assim, uma escolha mais otimizada para as condições obtidas no projeto; (iii) possibilidade de determinação de rendimento e potências requeridas para situações diferentes das nominais. Para determinar a viabilidade de investimento da melhor opção proposta, adota-se o mesmo procedimento apresentado para análise econômica para a adequação de força motriz (item 2.7.2).

## **2.9. Custos da irrigação**

De acordo com THOMPSON et al. (1983), os custos anuais de irrigação devem incluir todos os custos associados à compra do equipamento, à operação e manutenção do sistema de irrigação. Adicionalmente ao custo do sistema de irrigação, devem ser acrescentados outros custos associados à produção da cultura irrigada. Desse modo, o custo anual de um empreendimento de irrigação pode ser determinado a partir da seguinte lista de itens:

(i) custo da água, o qual pode incluir os custos de obtenção dos direitos e permissão do uso da água, ou a tarifa anual de distribuição de água de um distrito de irrigação;

(ii) custo fixo anual de compra ou aluguel do sistema de irrigação, que incluirá o custo de depreciação do investimento, em todas as oportunidades, e

dos juros do investimento;

(iii) custo com energia elétrica para operação do sistema, incluindo consumo e demanda; e

(iiii) custo para reparo, operação e manutenção do sistema, incluindo a mão-de-obra, taxas e seguros, além de outros custos com a cultura irrigada.

São definidos como se segue:

- Mão-de-obra utilizada ( $MDO_u$ ) é o custo de uso do sistema de irrigação com operador. Este custo é obtido pelo salário mensal do operador, acrescido dos encargos sociais, taxas e seguros;
- Os custos de manutenção e reparo são os custos de manutenção para manter os bens de capital em plenas condições de uso. Abrange, essencialmente, os dispêndios realizados com lubrificantes, mão-de-obra, reparos dos equipamentos e da infra-estrutura utilizada na operação do sistema de irrigação;
- Depreciação é o custo necessário para a substituição do capital investido em bens de longa duração, quando estes tornam-se inúteis pelo desgaste físico, ou quando perdem valor com o decorrer dos anos devido às inovações tecnológicas. Esta, porém, depende não apenas de sua duração física, mas também da possibilidade de o bem tornar-se obsoleto devido à introdução de modificações tecnológicas (FRIZZONE e SILVEIRA, 1996). De acordo com FRANCISCO (1981), vários são os métodos utilizados para o cálculo de depreciação, sendo os principais: (a) método linear; (b) método da taxa constante; (c) método da taxa variável; (d) método de capitalização; e (e) método das anuidades. A escolha de um ou outro método depende do bem que se está depreciando, além de outros fatores.

### **2.9.1. Custo total (CT)**

O custo total da irrigação pode ser expresso como um valor anual com base em preços correntes, representando a soma de todos os gastos associados com o sistema de irrigação (THOMPSON et al., 1983).

Para o desenvolvimento deste trabalho utilizou-se a metodologia do

Instituto de Economia Agrícola (MATSUNAGA et al., 1976; CESAR et al., 1991) e MARTIN et al. (1994 e 1998), juntamente com a definição adaptada dos custos para o sistema de irrigação, definidos por MELO (1993), FRIZZONE e SILVEIRA (1996). Então, o custo total de irrigação (CT) foi expresso pela soma dos custos fixos (CF) e custos variáveis (CV), ou seja:

$$CT = CF + CV$$

Os custos fixos com irrigação envolvem os gastos com a compra e instalação dos equipamentos de irrigação, enquanto os custos variáveis envolvem os custos com energia elétrica, mão-de-obra, lubrificantes, manutenção e reparos, bem como máquinas e equipamentos auxiliares.

MENDONÇA (1999) estudando a evolução dos custos e a avaliação econômica de sistemas de irrigação utilizados na cafeicultura, para a região do Triângulo Mineiro, enfatizou que, embora vários trabalhos têm sido desenvolvidos sobre a cafeicultura irrigada, alguns aspectos dos sistemas de produção são tratados de maneira superficial, contrastando com a grande importância dada a outros tantos. Um aspecto pouco estudado é a avaliação dos custos da irrigação da cultura, sua participação nos custos de produção e sua implicação na viabilidade econômica da adoção de tecnologias. Fatores como os custos de energia elétrica ou mão-de-obra podem influenciar a decisão sobre o tipo de sistemas a utilizar, ou sobre mudanças a serem feitas nos sistemas já existentes.

No âmbito dos custos variáveis da irrigação, a energia representa a maior parcela e, dependendo do método adotado, poderá chegar a 70% (MELO, 1993).

### **2.9.2. Análise de índices econômico-financeiros**

A análise de índices econômico-financeiros apóia-se nas demonstrações contábeis. Essas demonstrações permitem a aplicação de vários tipos de análises.

Segundo MARTIN et al. (1998), a utilização destes índices pode ser feita de duas formas: comparando-os aos índices de outros sistemas

individualmente, ou analisando sua evolução temporal. A comparação com os índices de outros sistemas permite traçar um paralelo, estabelecendo os pontos fortes e fracos e orientando, assim, as ações necessárias para melhorar ou manter o desempenho da empresa. A evolução temporal dos índices, por um lado, serve para identificar o desempenho da empresa no decorrer dos anos, enquanto, por outro, serve como forte referencial para analisar as projeções de resultados futuros (análise de índices aplicada às projeções de resultados).

É através da análise dos índices que o empresário conhece os resultados obtidos (em termos monetários), em cada exploração da empresa rural, e pode tomar, conscientemente, suas decisões e ver a agricultura como um agronegócio (LEITE et al., 1996).

Existe um grande número de índices, mas, como neste trabalho, o objetivo é compor os elementos para a análise dos sistemas de irrigação, serão apresentados unicamente os índices: renda bruta total (RBT), renda líquida total (RLT), índice de lucratividade (IL), margem bruta (MB) e ponto de nivelamento (PN). Segundo MARTIN (1998), tais índices podem ser definidos conforme apresentado a seguir:

#### Renda bruta total (RBT)

A renda bruta total (RBT) compreende o valor esperado de todos os produtos para um preço de venda predefinido, para determinada atividade, obtido como resultado do processo de produção durante o ciclo da cultura, ano agrícola, ou ano civil.

#### Renda líquida total (RLT)

A renda líquida total (RLT), também denominada lucro total, é o resultado do valor da produção obtida na exploração considerada menos o custo total atribuído a essa operação, considerando-se o ciclo da cultura, o ano agrícola ou ano civil.

O indicador RLT mede a lucratividade da atividade no curto prazo,

mostrando as condições financeiras e operacionais da atividade agropecuária.

A análise do lucro permite chegar às seguintes conclusões:

- a)  $RLT > 0$ , os produtores estão remunerando o capital a uma taxa superior à do mercado (lucro supernormal);
- b)  $RLT = 0$ , a propriedade está no ponto de equilíbrio e em condição de refazer, no longo prazo, seu capital (lucro normal); e
- c)  $RLT < 0$ , mas  $RLO > 0$ , indica que a renda bruta total da exploração foi suficiente para repor todo o capital gerando um saldo ( $RLO > 0$ ), porém inferior ao que seria conseguido se o capital tivesse sido empregado à taxa do mercado. Esta situação permite afirmar que a empresa capitalizou, mas a uma taxa inferior de mercado (prejuízo econômico).

#### Índice de lucratividade (IL)

O índice de lucratividade (IL) mostra a relação entre o lucro e a receita bruta. É uma medida importante de rentabilidade da atividade agropecuária, uma vez que mostra a taxa disponível de receita da atividade, após o pagamento de todos os custos operacionais.

#### Margem bruta (MB)

A margem bruta do custo total MB (CT) é a margem em relação ao custo total (CT), isto é, o que sobra após o produtor pagar o custo total em relação a esse mesmo custo, em percentagem, considerando determinado preço unitário de venda e o rendimento do sistema de produção para a atividade.

#### Ponto de nivelamento (PN)

O ponto de nivelamento (PN) representa a produção mínima necessária para se cobrir os custos do processo produtivo, dado o preço de venda unitário para o produto em foco.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Avaliação do manejo da irrigação**

O estudo foi conduzido com as informações obtidas na Fazenda Vista Alegre, situada a 19°30' S, 43°44' W e 700 metros de altitude, município de Jaboticatubas – MG. A fazenda possui uma área de 700 ha, sendo 300 ha cultivados com café irrigado por sistemas do tipo pivô central de baixa pressão e gotejamento.

A escolha do local baseou-se na qualidade das informações existentes (banco de dados), bem como ao fato de a localidade utilizar equipamentos de irrigação do tipo pivô central e gotejamento, que são os sistemas contemplados nos objetivos do presente estudo.

O pivô central de baixa pressão é constituído de oito torres, um balanço de 32 m, perfazendo um raio molhado de 380 m e uma área irrigada de 45,4 ha.

O sistema por gotejamento, irriga uma área de 53 ha, dividida em nove setores de 5 a 7 ha cada um, com emissores inseridos sobre a linha lateral, e com vazão de 2,3 L h<sup>-1</sup>. O espaçamento entre emissores na linha lateral é 0,8 m e entre linhas 3,5 m.

Os dados de consumo de água, consumo de energia elétrica, produção e comercialização do produto, referentes ao período de 1996 a 2001, foram coletados e avaliados. Em razão da uniformidade dos dados, decidiu-se utilizar os valores referentes ao ano de 2001.

Alguns dados adicionais foram obtidos junto ao empresário agrícola, a fim de analisar os resultados simulados através do modelo SISDA, para o ano em questão. Assim, foi feita uma comparação dos gastos reais, ou seja, a situação real para o manejo tradicional da água de irrigação, utilizado pelo agricultor, com os gastos calculados utilizando o programa SISDA, ou seja, a situação simulada para o manejo da água na irrigação.

A utilização do SISDA requer o conhecimento de variáveis de entrada referentes à propriedade, ao clima, ao solo, à cultura, ao plantio e irrigação.

O cadastro diário das variáveis climáticas foi obtido junto à estação meteorológica do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS) da EMBRAPA, localizada no município de Sete Lagoas, situada próximo (30 km) à fazenda, e que apresenta condições de relevo e características climáticas semelhantes aquelas do local de estudo.

Os elementos climáticos utilizados foram: temperatura média do ar (Tmed), umidade relativa média do ar (UR), velocidade média dos ventos (Vv), insolação (Ins) e precipitação (Prec). Em função da sua maior variabilidade, os dados de precipitação foram adquiridos do banco de dados locais da fazenda, que dispõe de um pluviômetro e realiza coleta de dados diária.

A caracterização física do solo, obtida no banco de dados da própria fazenda, é apresentada no Quadro 3.

Quadro 3 – Valores de capacidade de campo (CC), ponto-de-murchamento permanente (PM), massa específica do solo ( $\rho_s$ ), teores de areia, silte e argila para as profundidades adotadas de 0-20 e 20-60 cm, Fazenda Vista Alegre, Jaboticatubas – MG

	Profundidade (cm)	CC (%)	PM (%)	$\rho_s$ (g cm <sup>-3</sup> )	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
Pivô Central	0 - 20	34,2	21,5	0,97	16	28	56
	20 - 60	33,2	22,7	0,88	16	26	58
Gotejamento	0 - 20	37,4	20,8	0,97	12	30	58
	20 - 60	36,0	21,9	0,87	12	24	64

Fonte: dados de pesquisa.

Quanto ao cultivo, foram selecionadas as áreas que possuíam características similares quanto ao espaçamento de plantio, idade da cultura, e características físicas e químicas dos solos. Os dados requeridos foram: variedade (Catuaí), fator de disponibilidade hídrica (0,4, adimensional), área adequadamente irrigada (80 %), temperatura basal da cultura (10 °C), temperatura máxima para o desenvolvimento da cultura (25 °C), e salinidade máxima para a cultura (10 dS m<sup>-1</sup>), coeficiente de cultura (Kc = 0,9, adimensional), valor indicado segundo ALLEN et al. (1998), profundidade da raiz (0,6 m) e percentagem de sombreamento da cultura (50 %, quando adulta). A caracterização do plantio demandou dados referentes à data de plantio e espaçamento da cultura (0,8 x 3,5 m).

Quanto à caracterização dos sistemas de irrigação, para o sistema de gotejamento, foram obtidos os dados referentes à pressão de serviço (20 Pa), vazão do emissor (2,3 L h<sup>-1</sup>), percentagem de área molhada (28 %), coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC = 90 %), espaçamento entre emissores (0,8 m), espaçamento entre linhas laterais (3,5 m), emissores por metro (1,25 emissores) e emissores por planta (1 emissor). Os dados referentes ao pivô central (baixa pressão, segundo BERNARDO, 1996) foram: velocidade de deslocamento (112 m h<sup>-1</sup>), raio da última torre (348 m), pressão de serviço (20 Pa), vão em balanço (32 m), Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC = 85 %), tempo máximo de operação diário (21 horas) e vazão (36,1 L s<sup>-1</sup>).

Durante o período estudado, a fazenda utilizou o tanque classe “A”, instalado próximo ao local de cultivo, para determinar a necessidade hídrica da cultura e o uso de tensiômetros instalados em diferentes pontos das áreas e em duas diferentes profundidades, sendo a primeira de 0 a 30 cm e a segunda de 30 a 60 cm.

A fim de permitir uma adequada comparação da determinação das necessidades hídricas para a cultura do café, utilizaram-se os dados de campo e os resultados obtidos da simulação, para os dois sistemas de irrigação. Com base nessas informações, a demanda de água para o sistema de produção do empresário agrícola foi determinada, via módulo manejo de irrigação do programa SISDA.

Considerando os dados de entrada do modelo SISDA e os dois sistemas de irrigação, realizou-se a simulação (IS) para a cultura do café, para o ano



agrícola 2001, a fim de obter a irrigação total necessária (ITN).

Nas simulações realizadas, considerando-se um sistema de manejo de irrigação que possibilitava a manutenção de um conteúdo adequado de umidade no solo para a obtenção de elevadas produtividades do cafeeiro durante todo o ano, ou seja, não foi considerada a suspensão das irrigações durante o período de pré-florada do cafeeiro, que coincidiria com os meses de julho a agosto para a região.

A simulação foi realizada para o gotejamento, adotando-se o turno de rega variável e um descanso semanal (domingo). Para o pivô central, irrigou-se sempre que a demanda por irrigação alcançava o tempo para o pivô dar uma volta à velocidade de 100 %, obedecendo a um período de descanso semanal (domingo), sendo os valores acumulados anualmente.

A evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) foi calculada a partir da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub> – Penman Monteith), considerando-se o coeficiente de déficit (BERNARDO, 1996) onde o seu valor se baseia no teor diário de umidade atual do solo. No coeficiente de localização adotou-se o modelo proposto por Fereres (RODRIGO LÓPEZ et al., 1992).

### **3.2. Estimativa do carregamento e rendimento dos motores elétricos utilizados nos sistemas de irrigação**

A avaliação da forma de aquisição de dados para adequação da força motriz foi feita em três motores de indução trifásicos padrão. Os dados de eletricidade foram medidos em motores elétricos, utilizados no bombeamento da água em equipamentos de irrigação do tipo pivô central e gotejamento, na Fazenda Vista Alegre.

Os dados de corrente elétrica e tensão foram medidos em cada uma das fases (Quadro 4). Para o equipamento do tipo pivô central, efetuou-se medidas para quatro diferentes posições, sendo a posição norte considerada como a posição de maior altura manométrica total ( $H_m$ ), a posição sul de menor  $H_m$ , e as posições leste e oeste com o pivô trabalhando em nível. Não foi medida a tensão para o motor de 10 cv. O carregamento e o rendimento dos motores elétricos foram avaliados utilizando-se a média aritmética das correntes.

O carregamento dos motores foi determinado por meio das médias dos valores de corrente. Para o pivô central, adotou-se o valor médio das correntes medidas durante o funcionamento do motor, sendo estimado pela curva característica de corrente. Para o equipamento de gotejamento, utilizou-se, como dados de entrada, as médias aritméticas das correntes das fases lidas para cada um dos motores.

Quadro 4 - Valores de tensão na rede elétrica de alimentação (volts), corrente dos motores elétricos estudados (amperes) e potência dos motores elétricos (cv) em uso na Fazenda Vista Alegre

Equipamento	Posição	Potência nominal (cv)	Tensão (volts) nas fases				Corrente (amperes) nas fases								
			A	B	C	Média	A	B	C	Média					
Pivô central	Norte	175	405	400	395	400	215	260	236	237					
	Sul		395	395	385	392	207	264	230	233,6					
	Leste		390	390	385	388	212	262	238	237,3					
	Oeste		400	395	390	395	213	265	241	239,6					
Média Geral										393,7					236,8
Gotejamento	----	10	---	---	---	---	13,2	12,9	12,0	12,7					
	----	40	389	386	381	385	43,7	34,4	39,7	38,7					
	----	40	378	373	363	371	37,7	39,7	46,4	41,2					

Fonte: dados de pesquisa.

Os rendimentos dos motores foram obtidos a partir dos valores de carregamento, estimados na curva característica de rendimento (WEG, 2001). Para facilitar o entendimento da metodologia adotada, as curvas características dos motores avaliados encontram-se em Anexo.

### **3.3. Correção do rendimento devido à variação na amplitude de tensão e ao desequilíbrio na rede elétrica**

A seguir, são apresentadas as etapas para correção do rendimento de motores resultante da variação na amplitude de tensão e do desequilíbrio na rede elétrica pelas médias aritméticas das correntes elétricas usadas para avaliar o rendimento dos motores elétricos estudados.

A correção do rendimento dos motores foi feita, primeiramente, utilizando-se os valores de tensão medida em cada uma das fases (Quadro 4) e calculando a variação na amplitude de tensão média aritmética em relação à nominal, pela Equação 1, e o desequilíbrio nas tensões da rede elétrica pela Equação 2.

Posteriormente, obtiveram-se as Equações 3 e 4 (polinômios do sexto grau), que relacionam as perdas de rendimento dos motores elétricos para flutuações de tensão em relação à nominal (380 V), e a Equação 5 (polinômio de sexto grau) que relaciona os fatores de redução, que devem ser adotados conforme o valor percentual do desequilíbrio nas tensões da rede, a partir das curvas elaboradas pelo PROCEL (1998). Para tal, utilizou-se o software SACRID (SANTOS e RAMOS, 2000), o qual permite extrair coordenadas reais a partir de imagens digitais, obtidas por meio de um scanner. As coordenadas obtidas com a digitalização das curvas foram transportadas para uma planilha eletrônica, sendo, então, gerados os gráficos de perda de rendimento decorrente do desbalanceamento e desequilíbrio da rede elétrica. As curvas apresentadas nestes gráficos foram ajustadas por meio de regressão polinomial, adicionando-se linhas de tendências, ou seja, para cada curva, o ajuste foi calculado por mínimos quadrados, utilizando-se polinômios de sexto grau, gerando, assim, a equação adotada para determinar as perdas nos rendimentos dos motores.

De posse das equações de perdas e dos valores de tensão estimados anteriormente, foi estimada a correção do rendimento de motores devido à variação na amplitude da tensão (Equações 3 e 4), bem como ao desequilíbrio na rede elétrica (Equação 5). Todas as equações determinadas obtiveram um  $R^2$  de 0,999.

$$\Delta_s \text{ e/ou } \Delta_i = \frac{Va + Vb + Vc}{3} / V \quad (1)$$

$$DT = \frac{T_{\max} - T_{\text{med}}}{T_{\text{med}}} \times 100 \quad (2)$$

$$P_{\Delta_s} = \eta_c - ((0,00000110277627026 \Delta_s^6 - 0,000090003439711 \Delta_s^5 + 0,0022878889703 \Delta_s^4 - 0,02522574152 \Delta_s^3 + 0,13471486606 \Delta_s^2 - 0,2315325366 \Delta_s + 0,14293831192) \eta_c). \quad (3)$$

$$P_{\Delta_i} = \eta_c - ((0,0000085044477089 \Delta_i^6 - 0,00030944063988 \Delta_i^5 + 0,00390428184 \Delta_i^4 - 0,017565369832 \Delta_i^3 + 0,0067612476525 \Delta_i^2 - 0,21151715902 \Delta_i + 0,10145148476) \eta_c). \quad (4)$$

$$P_{DT} = \eta_c - ((-0,000063196061 DT^6 + 0,0007714329 DT^5 - 0,003142923 DT^4 + 0,0051958522 DT^3 - 0,015455991 DT^2 + 0,0066108127 DT + 0,99679833) \eta_c). \quad (5)$$

em que

$P_{\Delta_s}$  = perda do rendimento do motor elétrico devido à variação na amplitude de tensão na linha ser superior à nominal (decimal);

$P_{\Delta_i}$  = perda do rendimento do motor elétrico devido à variação na amplitude de tensão na linha ser inferior à nominal, (decimal);

$P_{DT}$  = perda do rendimento do motor elétrico devido ao desequilíbrio nas tensões da rede elétrica, (decimal);

$\Delta_s$  = desequilíbrio na tensão da linha, quando a tensão da linha é superior à nominal, (%);

- $\Delta_i$  = desequilíbrio na tensão da linha, quando a tensão da linha é inferior à nominal, (%);
- DT = desequilíbrio médio na tensão da rede, (%);
- $T_{max}, T_{med}$  = máxima tensão medida e valor médio das tensões medidas, (%);
- $\eta_c$  = rendimento do motor elétrico nas correntes e nos índices de carregamento, medidos em cada uma das fases e obtidos no catálogo do fabricante, (%);
- Va, Vb e Vc = tensão medida em cada uma das três fases de alimentação do motor, (volts); e
- V = tensão nominal, (380 V).

### **3.4. Racionalização do uso da energia elétrica em sistemas de irrigação do tipo pivô central e gotejamento**

A fazenda enquadra-se no subgrupo A4 (2,3 kV a 25 KV), grupo A - com sistema de cobrança segundo o contrato de fornecimento de energia elétrica junto à concessionária de energia de Minas Gerais (CEMIG, 1997) como consumidor rural tarifa horo-sazonal verde.

Utilizaram-se os valores de correntes dos motores trifásicos de indução, medidos quando estes estavam em funcionamento, sendo as medições realizadas no ano de 2002. As demais especificações foram àquelas contidas nas placas dos motores. Utilizou-se o catálogo eletrônico de fabricante de motores, para obtenção das curvas características, como corrente, rendimento e escorregamento, assim como o fator de potência para avaliação dos pontos de estado dos motores medidos em nível de campo (WEG 2001). Para a estimativa do consumo de energia elétrica, para cada sistema de irrigação, utilizaram-se como referências, o manejo da irrigação real da propriedade e a simulação feita pelo modelo SISDA 3.5 para o mesmo período em estudo.

## Análises

Para obtenção de dados de rendimento e percentagem de carga dos motores elétricos na situação atual, adotou-se o procedimento descrito a seguir:

Com as correntes médias de operação dos motores na atividade de irrigação (Quadro 5) e utilizando as respectivas curvas de desempenho (catálogo do fabricante), obtiveram-se os valores de potência mecânica fornecida em relação à nominal (percentagem de carga).

Quadro 5 – Características elétricas dos motores utilizados na irrigação por pivô central e gotejamento para bombeamento da água na Fazenda Vista Alegre, Jaboticatubas – MG

Tipo de sistema	Potência (cv)	Média aritmética das correntes (amperes)
Pivô central	175	236,9
Gotejamento	10	12,7
	40	38,7
	40	41,3

Fonte: dados de pesquisa.

Com os valores apresentados no Quadro 5 e as potências dos motores-padrão, que vêm sendo utilizados na fazenda, efetuou-se a estimativa do rendimento (feito diretamente na curva de valor correspondente no eixo das ordenadas), por meio do catálogo eletrônico de motores (WEG, 2001).

A economia de energia, obtida com o redimensionamento dos motores-padrão em uso foi determinada, adotando-se o seguinte critério de substituição:

- a) motores-padrão adequados à condição de carga, para as situações de manejo de irrigação reais, adotado pela fazenda e simulado pelo SISDA;
- b) motores de alto rendimento de mesma potência, para as situações de manejo de irrigação real, adotado pela fazenda e simulado pelo SISDA;
- c) motores de alto rendimento adequados à condição de carga, para as situações de manejo de irrigação reais, adotado pela fazenda e simulados pelo

SISDA;

d) a economia de energia foi determinada, substituindo-se os conjuntos motobombas em uso na propriedade por conjuntos motobombas adequados à condição de projeto, segundo melhor seleção recomendada pelo software AGRIBOMBAS (2000), para as situações reais de manejo de irrigação adotado pela fazenda e simulado pelo SISDA.

Para estudo da viabilidade econômica das alternativas de força motriz e alternativa de conjuntos motobombas, os gastos anuais com consumo e demanda de energia elétrica, foram calculados por meio das Equações 6 e 7, respectivamente.

$$G_{\text{con}} = \frac{n \text{ IC } 0,736 \text{ P}}{\eta} T_{\text{con}} \quad (6)$$

$$G_{\text{dem}} = \frac{\text{IC } 0,736 \text{ P}}{\eta} T_{\text{dem}} \quad (7)$$

em que

- $G_{\text{con}}$  = gasto anual com consumo de energia elétrica, R\$ ano<sup>-1</sup>;
- $\text{IC}$  = índice de carregamento do motor elétrico, decimal;
- $P$  = potência do motor elétrico, cv;
- $\eta$  = rendimento do motor elétrico, decimal;
- $T_{\text{con}}$  = preço da tarifa de consumo de energia elétrica, R\$ kWh<sup>-1</sup>;
- $G_{\text{dem}}$  = gasto anual com demanda de energia elétrica, R\$ ano<sup>-1</sup>;
- $T_{\text{dem}}$  = preço da tarifa relativa à demanda de energia elétrica, R\$ kW<sup>-1</sup>; e
- $n$  = número de horas de funcionamento anual do sistema de irrigação, horas.

Um fator de relevância refere-se ao período do dia em que cada sistema operou, o qual influencia diretamente no preço da tarifa de energia elétrica a ser cobrada, sendo, para o manejo real adotado na fazenda, para o sistema de pivô central, de 66,2 e 33,8 % para o funcionamento no horário fora-de-ponta e no período noturno, respectivamente, e de 72,7 e 27,3 % para o sistema de gotejamento, para o funcionamento no horário fora-de-ponta e no período noturno, respectivamente. Para o manejo indicado pela simulação via SISDA, para o sistema de pivô central, obtiveram-se 43,2 e 56,8 % para o funcionamento no horário fora-de-ponta e no período noturno, respectivamente, e, para o gotejamento, 64,2 e 35,8 % para o funcionamento no horário fora de ponta e no período noturno, respectivamente.

Para o presente trabalho, adotou-se o período noturno de 23:00 às 5:00 horas, não abrangendo a nova legislação, segundo resolução da ANEEL do art. 25 da Lei 10.438 de setembro de 2002, que compreende o horário de 21:30 e 6:00 horas, o que possibilita ao produtor maiores economias com energia elétrica, o que pode representar uma economia de 40 % no número de horas com tarifas mais baixas, influenciando, significativamente, a escolha do conjunto motobomba e das demandas de contrato.

Para o sistema de pivô central, além do consumo de energia pelo conjunto motobomba, existe o consumo adicional de energia requerido pelo sistema de locomoção do equipamento, com potência de motor de 0,74 kW. Segundo Tarjuelo Martín-Benito (1986), com base em trabalhos realizados por Stetson e Nelson, citados por BONOMO (1999) a demanda média de potência para o sistema de locomoção dos sistemas de pivô central é de 1 kva por cv instalado, enquanto a potencia ativa ou absorvida a ser considerada é em torno de 0,4 kW por cv instalado, considerando-se um fator de potência médio de 0,4.

e) Calculou-se o potencial de redução nos gastos com energia elétrica, para um motor operando com número de horas anual otimizado, situação de emprego do modelo SISDA, procurando, sempre, atender às necessidades hídricas da cultura do café para a região.

f) Para cálculo da viabilidade econômica do projeto, considerou-se o aumento anual da energia acima da inflação, horizonte de planejamento, manutenção anual, taxa de desconto, valor de sucata e ICMS (Quadro 6).



Quadro 6 – Dados relativos a custo de energia elétrica, manutenção e índices econômicos

Dados utilizados para análise econômica	Unidade	Valor (R\$)
Tarifa energética devido ao consumo (hfp)	R\$ kWh <sup>-1</sup>	0,07248
Desconto na tarifa de consumo para o horário noturno	%	67
Tarifa energética devido à demanda	R\$ kW <sup>-1</sup>	7,7500
ICMS	%	18
Taxa de juros adotada para empréstimos	%	8,75
Horizonte de planejamento	Anos	10
Valor de sucata	%	20
Aumento da energia acima da inflação	%	2

Fonte: CEMIG – 02/09/2002.

Como critérios de tomada de decisão técnico-econômica para substituição dos motores-padrão em uso na fazenda, em todas as análises foram considerados, o tempo de retorno do capital, valor presente do investimento e taxa interna de retorno, para todas as alternativas analisadas. As alternativas para a substituição dos motores-padrão em uso na fazenda foram: (i) motores “standard adequados à condição de carga; (ii) motores de alto rendimento de mesma potência; (iii) motores de alto rendimento adequados à condição de carga; e (iiii) substituição dos conjuntos motobombas, proposta pelo software AGRIBOMBAS (2000), para adequação dos conjuntos motobomba, por meio de gasto específico com energia hidráulica útil, determinado por CAMPANA (2000). Esse índice expressa a razão entre o valor presente dos gastos com energia elétrica e a energia hidráulica consumida pelo motor no horizonte de planejamento considerado (Equações 8 e 9)

$$GEEH = \frac{VPL}{E_{\text{útil}} 3,6} \quad (8)$$

$$E_{\text{útil}} = \frac{9,807}{3600} QHnT \quad (9)$$

em que

- GEEH = gasto específico anual com energia hidráulica útil, R\$ MJ<sup>-1</sup>;  
VPL = valor presente líquido do investimento, levando-se em conta o investimento inicial, gastos com demanda e consumo de energia elétrica e horizonte de planejamento, R\$;  
E<sub>hútil</sub> = energia hidráulica útil, MJ;  
Q = vazão do sistema de irrigação, m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>;  
H = altura manométrica da instalação, m;  
T = horizonte de planejamento, anos; e  
n = tempo de funcionamento anual, horas.

### **3.5. Determinação dos custos de irrigação para os sistemas de irrigação do tipo pivô central e gotejamento**

Para os equipamentos avaliados, utilizou-se o preço médio praticado na região, vigente em agosto de 2002, obtido junto aos fabricantes e revendedores de equipamentos de irrigação. Para o equipamento de gotejamento de 53 hectares, adotou-se um valor de aquisição de R\$ 212.000,00, ou seja, o que equivale a um custo médio por hectare de R\$ 4.000,00, enquanto, para o equipamento do tipo pivô central, o preço do equipamento para área de 45,4 ha foi de R\$ 136.800,00, ou seja, um custo médio por hectare de R\$ 3.000,00.

#### **3.5.1. Custos fixos**

A determinação do custo fixo, ou seja, a depreciação de cada equipamento, foi feita para cada sistema de irrigação, considerando-se a vida média dos mesmos. Para este cálculo, adotou-se o método das anuidades empregado por BRITO e SCALOPPI (1986) e MELO (1993), em que os valores anuais de reposição do investimento, calculados em função da vida útil e da taxa de juros, incorporam depreciação e remuneração do capital investido, cuja expressão geral, é

$$T = [ C (1+i)^n - R ] Fc \quad (10)$$

em que

$$Fc = Fa - 1 \quad (11)$$

$$Fa = i(1+i)^n [ (1+i)^n - 1 ]^{-1} \quad (12)$$

em que

- T = quota anual de depreciação, R\$;
- C = valor do investimento, R\$;
- i = taxa anual de juros, decimal;
- n = vida útil, anos;
- R = valor residual, R\$;
- Fc = fator de capitalização; e
- Fa = fator de remuneração de capital.

A taxa de juros anual adotada foi 8,75 % (Banco do Brasil S.A., 2002), sendo o valor médio adotado para financiamentos privados do setor agrícola. Segundo FRIZZONE e SILVEIRA (1996), foi considerado um valor residual de 10 % do valor inicial para os equipamentos do tipo gotejamento e pivô central.

Para vida útil, foram adotados os valores encontrados na literatura (KELLER e BLIESNER, 1990; FRIZONE e SILVEIRA, 1996), sendo 15 anos para pivô central e 10 anos para gotejamento.

### 3.5.2. Custos variáveis

Nos cálculos dos custos variáveis da irrigação estão envolvidos os custos de manutenção e reparos, mão-de-obra e energia elétrica.

## Manutenção e reparos

Os custos com manutenção e reparos dos sistemas de irrigação foram estimados como um percentual do investimento inicial em equipamentos de irrigação, conforme sugerido na literatura (THOMPSON et al., 1983; KELLER e BLIESNER, 1990), ou seja, 5 % ao ano para sistemas por pivô central e 3 % para sistemas de gotejamento.

## Energia elétrica

De acordo com as características dos equipamentos em estudo determinou-se uma eficiência de irrigação para uma área adequadamente irrigada de 80 %, para os dois sistemas. Os valores de eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada (Ead) foram determinados, aplicando-se a metodologia apresentada por KELLER e BLIESNER (1990), considerando um coeficiente de uniformidade de Christiansen de 85 % para pivô central e de 90 % para gotejamento, valores médios estimados e indicados para os sistemas, considerando condições padrão de manutenção.

Com isso, determinou-se a quantidade de água aplicada de acordo com o manejo real adotado na fazenda e com o manejo utilizando a simulação realizada no programa SISDA, e o número de horas de funcionamento anual para o mesmo período em estudo.

Por meio das Equações 6 e 7, determinou-se os gastos anuais com consumo e demanda, para cada equipamento e para cada motor e conjuntos motobombas avaliados na substituição e utilizados em cada equipamento.

Foram considerados dois períodos tarifários para aplicação do fator água à cultura: um período com desconto de 67 % da tarifa de consumo, para operação compreendida entre 23:00 e 5:00 horas, o que contempla necessidades de irrigação de até 180 horas mensais (isto é, 6 horas diárias durante 30 dias do mês, correspondendo ao período de operação com desconto); e o outro período corresponde às horas excedentes, com tarifa normal (tarifa sem desconto), de acordo com o nível de utilização da tarifa nos horários com e sem descontos, adotado pelo empresário agrícola para os sistemas de irrigação.

As tarifas de energia elétrica cobradas pela CEMIG, em setembro de 2002, conforme resolução N° 176 da ANEEL, de 04/04/2002, são descritas a seguir:

Tarifa Horo-Sazonal Verde (transformadores acima de 75 kVA):

Demanda única: R\$ 7,750000 kW<sup>-1</sup>;

Consumo fora-de-ponta – Período Seco: R\$ 0,072480 kWh<sup>-1</sup>;

Consumo fora-de-ponta – Período Úmido: R\$ 0,064040 kWh<sup>-1</sup>;

ICMS – 18 %; e

Descontos concedidos para horário das 23 às 5 horas:

Região central de Minas Gerais: 67 %.

#### Mão-de-obra

O preço de mão-de-obra, adotado nos cálculos de custo, foi um salário-base, ou seja, R\$ 198,00 para operações realizadas no horário diurno, e R\$ 297,00 para as operações noturnas, sendo acrescentados a esses valores os encargos totais, conforme Quadro 7.

Quadro 7 - Encargos acrescidos ao salário-base dos funcionários responsáveis pela operação dos sistemas de irrigação

Itens	Valores a serem acrescidos ao salário-base (%)
Férias	8,33
1/3 Férias	2,77
INSS S/ Salário	2,70
FGTS S/ Salário	8,00
13° Salário	8,33
FGTS S/ Férias + 1/3	0,89
INSS S/ Férias +1/3	3,00
FGTS S/ 13° Salário	0,67
INSS S/ 13° Salário	0,23
Total	34,9

Fonte: dados de pesquisa.

### 3.6. Análise de índices econômico-financeiros

Para compor os elementos para a análise dos sistemas de irrigação, foram utilizados os índices econômico-financeiros de renda bruta total (RBT), renda líquida total (RLT), índice de lucratividade (IL), margem bruta (MB) e ponto de nivelamento (PN).

#### 3.6.1. Renda bruta total

A renda bruta foi determinada pelo preço de venda predefinido no mercado, sendo que, para este estudo, adotou-se um valor de venda da saca de café beneficiada de R\$ 120,00 (AGRIANUAL, 2002), valor médio para o período de 1992 a 2001, para o café do grupo I, tipo 6 fino, multiplicado pela respectiva quantidade produzida.

$$RBT = P_p Q_c \quad (13)$$

em que

- RBT = renda bruta total, em R\$ ha<sup>-1</sup>;
- P<sub>p</sub> = preço do produto da atividade, em R\$ sc<sup>-1</sup>; e
- Q<sub>c</sub> = quantidade comercializada do produto da atividade, em sc ha<sup>-1</sup>.

#### 3.6.2. Renda líquida total

O indicador RLT mede a lucratividade da atividade no curto prazo, mostrando as condições financeiras e operacionais da atividade agropecuária, sendo calculado por

$$RLT = RBT - CT \quad (14)$$

em que

RLT = renda líquida total, em R\$ ha<sup>-1</sup>; e

CT = custo total, em R\$ ha<sup>-1</sup>.

### 3.6.3. Índice de lucratividade

O índice de lucratividade pode ser calculado por

$$IL = \frac{RLT}{RBT} 100 \quad (15)$$

em que

IL = índice de lucratividade, adimensional.

### 3.6.4. Margem bruta

Esta margem indica a disponibilidade para cobrir os demais custos fixos, o risco e a capacidade empresarial do proprietário. Simplificando, tem-se

$$MB(CT) = \left( \frac{RLT - CT}{CT} \right) 100 \quad (16)$$

em que

MB (CT) = margem bruta em relação ao CT, %.

### 3.6.5. Ponto de nivelamento

O ponto de nivelamento (PN) representa a produção mínima necessária para cobrir os custos do processo produtivo, dado o preço de venda unitário para o produto. Assim, considerou-se

$$PN(CT) = \frac{CT}{P_p} \quad (17)$$

em que

PN (CT) = ponto de nivelamento em relação ao CT, em sc ha<sup>-1</sup>.

### 3.7. Análise socioeconômica

Considerando os dados reais obtidos pelo agricultor e os dados simulados pelo SISDA, foi feita a análise socioeconômica dos diferentes tipos de motores propostos e conjuntos motobomba propostos, pela metodologia descrita abaixo.

Para o cálculo da rentabilidade de utilização do recurso energia elétrica no período, tem-se

$$RU_{EE} = CT_{EEP} - CT_{EET} \quad (18)$$

em que

$RU_{EE}$  = rentabilidade pela utilização de energia elétrica, em R\$ ano<sup>-1</sup>;



$CT_{EEP}$  = custo total com energia elétrica do motor padrão, em R\$ ano<sup>-1</sup>; e

$CT_{EET}$  = custo total com energia elétrica do motor proposto para troca, em R\$ ano<sup>-1</sup>.

Para o cálculo da economia social do recurso energia elétrica no período, tem-se

$$ES_{EE} = \frac{\left[ \frac{RU_{EE}}{TC_{RN}} \right]}{C_{EEF}} \quad (19)$$

em que

$ES_{EE}$  = economia social do recurso energia elétrica, segundo classificação proposta pelo IBGE para uma família de baixa renda, em família ano<sup>-1</sup>;

$TC_{RN}$  = tarifa de consumo de energia elétrica para área residencial, em R\$ kWh<sup>-1</sup>;e

$C_{EEF}$  = consumo médio de energia elétrica por uma família com consumo entre 30 e 90 kWh, em kWh família<sup>-1</sup> ano.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Caracterização climática**

Para a caracterização climática da região, utilizaram-se dados meteorológicos diários (1996 a 2001), cedidos pelo Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS) da EMBRAPA, situado no município de Sete Lagoas, que possui condições climáticas semelhantes às da propriedade em estudo. Os dados de precipitação, por serem de maior variabilidade, foram adquiridos na própria fazenda, que dispõe de pluviômetro e faz coleta diária de dados (Quadro 8).

O regime térmico possui uma oscilação anual bastante suave com os valores médios anuais variando entre 18,0 °C e 23,9 °C que, segundo DaMATTA & RENA (2002) e MATIELLO (2002), são adequados e estão dentro dos limites aceitáveis para o bom desenvolvimento da cultura do café.

Em relação à precipitação, verifica-se que a região alcança valores totais médios anuais de 1320 mm. A precipitação concentra-se nos meses de novembro a janeiro e corresponde a 62,3 % do total anual, o que impõe à região sérias restrições quanto às práticas agrícolas, podendo ocorrer queda de produção em períodos mais críticos, exigindo que o empresário agrícola lance mão da irrigação para alcançar uma produtividade que o torne competitivo no mercado.

Quadro 8 – Dados médios mensais de temperatura média (Tmed, °C), umidade relativa média (UR, %), velocidade do vento (Vv, m s<sup>-1</sup>), precipitação (Prec, mm) e insolação (Ins, h), município de Sete Lagoas – MG, período de 1996 - 2001

Mês	Variáveis climáticas				
	Tmed (°C)	UR (%)	Vv (m.s <sup>-1</sup> )	<sup>1</sup> Prec (mm)	Ins (h)
Jan.	23,6	72,9	1,3	206	214
Fev.	23,9	68,9	1,2	161	218
Mar.	23,1	73,2	1,1	135	211
Abr.	21,9	69,0	1,3	31	258
Mai.	19,0	68,3	1,1	33	245
Jun.	18,0	65,8	1,2	8	249
Jul.	18,3	61,2	1,4	2	267
Ago.	19,5	55,4	1,6	20	273
Set.	21,9	57,3	1,8	37	228
Out.	22,9	61,3	1,7	71	220
Nov.	22,6	72,5	1,4	237	168
Dez.	23,1	75,1	1,3	378	176
Média	21,5	66,7	1,3	1.320	2.727

Fonte: Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo – EMBRAPA, município de Sete Lagoas, e <sup>1</sup>Fazenda Vista Alegre – dados de pesquisa.

A velocidade média dos ventos de 1,3 m s<sup>-1</sup> não compromete a uniformidade de aplicação de água com pivô central (KELLER e BLIESNER, 1990) nem a produção do cafeeiro.

A insolação e a umidade relativa alcançaram médias de 2.727 horas anuais e 66,7 %, respectivamente, que, segundo GOUVEIA e SONDAHL (1982), demonstram condições climáticas favoráveis ao cultivo do cafeeiro, possibilitando, portanto, a obtenção de um produto de melhor qualidade que atenda às exigências do mercado interno e, principalmente, o mercado externo.

A Figura 1 apresenta a distribuição da precipitação pluvial mensal (mm) e evapotranspiração de referência mensal (mm), determinadas para a propriedade em estudo, para o ano agrícola de 2001.

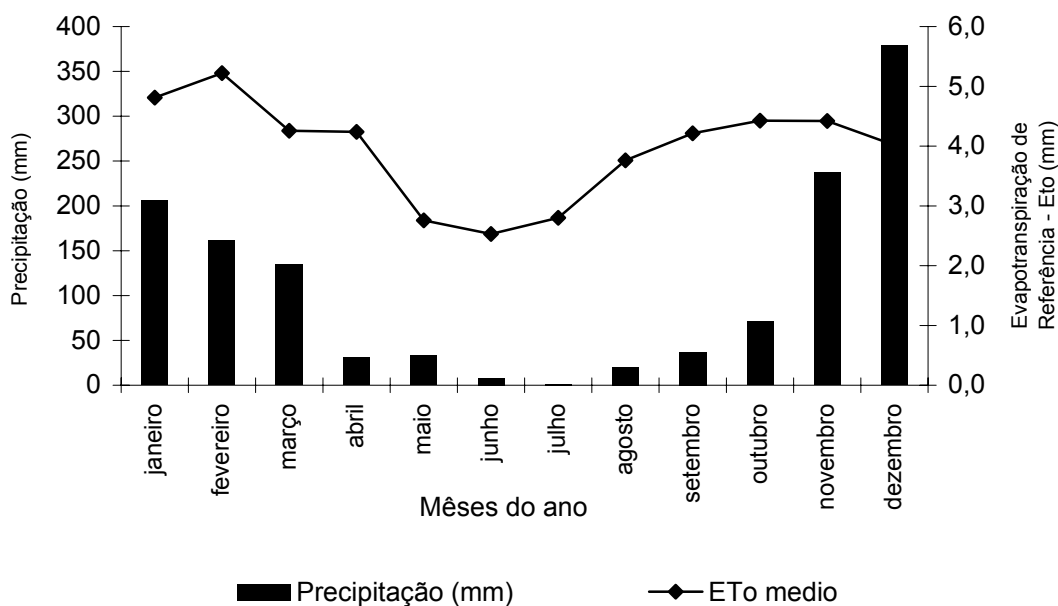


Figura 1 – Valor médio mensal de precipitação pluvial (mm) e evapotranspiração de referência (ETo, mm), para o ano agrícola de 2001, Fazenda Vista Alegre, Jaboticatubas-MG.

Na Figura 1, verifica-se que a distribuição da precipitação ocorre de forma bem peculiar, caracterizando duas épocas distintas, estação chuvosa e estação seca. Em dezembro, encontra-se a maior média mensal de precipitação acumulada (378 mm).

Em relação a evapotranspiração de referência (ETo), observa-se que, ao longo do ano, a marcha acompanha a distribuição da precipitação e a variação da temperatura (Quadro 8), alcançando oscilações de 5,2 a 2,5 mm dia<sup>-1</sup>, sendo que os valores de máxima e de mínima ocorrem nos meses de fevereiro e junho, respectivamente.

## 4.2. Análise do consumo de água e aspectos do manejo

O consumo de água para cada sistema avaliado foi obtido no banco de dados da propriedade, avaliou-se o manejo da irrigação praticado durante o período de 1996 a 2001. Observou-se uma semelhança nos valores de lâmina de irrigação adotada, para todos os anos, adotou-se os valores, levando-se em conta, o processo de tomada de decisão do empresário rural, no ano agrícola de 2001, foi feita uma comparação com os valores simulados pelo modelo SISDA para o mesmo período, via módulo manejo de irrigação (Quadro 9).

Quadro 9 - Valores mensais e totais de lâmina bruta de irrigação (mm) realizada pelo empresário agrícola (irrigação real) e simulados pelo SISDA (irrigação simulada), para os sistemas de irrigação estudados, considerando as limitações proporcionadas pelo equipamento de gotejamento e não havendo restrições quanto as limitações, para o ano agrícola de 2001

Meses	Gotejamento			Pivô central		
	Irrigação real	Irrigação simulada (IS <sub>1</sub> ) <sup>1</sup>	Irrigação simulada (IS <sub>2</sub> ) <sup>2</sup>	Irrigação real	Irrigação simulada (IS <sub>1</sub> ) <sup>1</sup>	Irrigação simulada (IS <sub>2</sub> ) <sup>2</sup>
Jan.	19	37	98	26	93	93
Fev.	40	42	103	111	110	110
Mar.	38	42	85	96	104	104
Abr.	42	55	94	79	122	122
Mai.	27	50	56	17	70	70
Jun.	31	55	64	33	70	70
Jul.	18	55	66	0	87	87
Ago.	37	50	85	0	93	93
Set.	28	42	87	48	87	87
Out.	10	28	64	19	64	64
Nov.	4	29	79	0	58	58
Dez.	12	32	77	0	41	41
Total geral (mm)	303	517	958	429	999	999

<sup>1</sup> Irrigação simulada considerando as limitações do equipamento, e <sup>2</sup> Irrigação simulada não considerando às limitações do equipamento.

Uma análise do Quadro 9 mostra que os valores reais são inferiores aos simulados, indicando que ocorreu um déficit anual de 214 mm e demonstrando que, no manejo adotado na fazenda, a umidade no solo ao longo do ano (Figura 2), foi inferior à umidade considerada ideal para o pleno desenvolvimento e produção do cafeeiro.

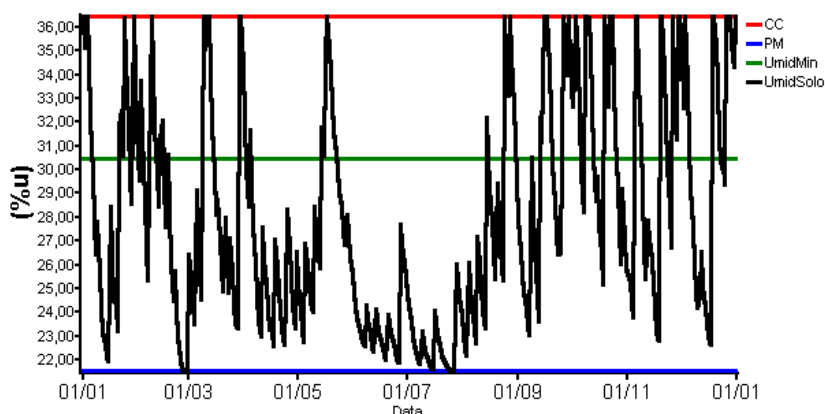


Figura 2 – Umidade do solo estabelecida com o manejo praticado na fazenda, no sistema de gotejamento, no ano de 2001.

É importante ressaltar que, as lâminas de irrigação definidas pelo SISDA, levam em conta a capacidade do equipamento de irrigação, assim, os valores de lâminas determinadas para o equipamento de gotejamento via simulação, foram de 517 mm, sendo esse valor, insuficiente para manter os teores de umidade no solo próximos à capacidade de campo, como demonstrado na Figura 3. Quando as simulações das lâminas de irrigação foram feitas sem que o equipamento apresentasse problemas de limitações quanto ao fornecimento de água para a cultura, as lâminas totais aplicadas para o ano em estudo, mantiveram-se bem próximas aos valores encontrados para o pivô central, mesmo sendo um sistema de aplicação de água localizado, o aproveitamento das precipitações tornam-se menores, ou seja, a precipitação efetiva foi reduzida, conseqüentemente, maior foi a freqüência de aplicação da água de irrigação para manter os teores de umidade do solo próximos a capacidade de campo.

Quando se avaliaram os valores simulados pelo SISDA, no período de

maior demanda hídrica da cultura, a suplementação de água através da irrigação não atendeu plenamente essa demanda, conforme observado na Figura 3.

O fator que está proporcionando um fornecimento inadequado de água para a cultura é decorrente das limitações proporcionadas pelo equipamento, ou seja, ocorrem problemas de subdimensionamento do sistema e, conseqüentemente, estresse hídrico para a cultura, em determinadas épocas do ano, principalmente nos períodos em que ocorre maior demanda hídrica pela cultura.

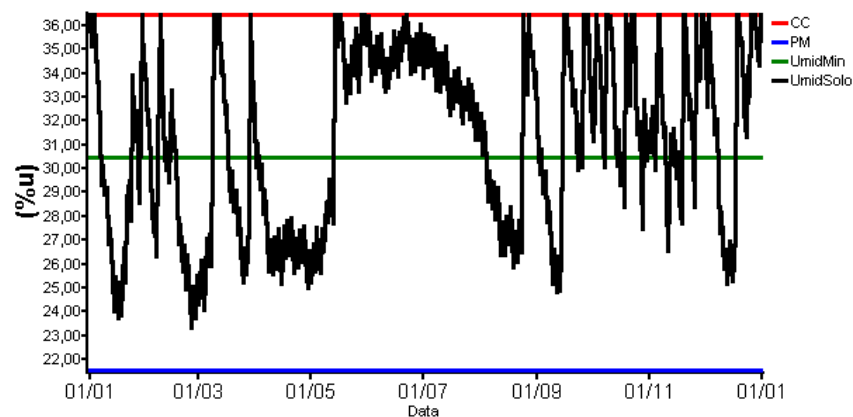


Figura 3 – Umidade do solo estabelecida com o manejo utilizando o SISDA, no sistema de gotejamento, ano de 2001.

As lâminas de irrigações aplicadas via pivô central, sendo para o manejo da irrigação praticado na fazenda (Figura 4), alcançaram valores médios anuais de 429 mm. Estes valores comparados aos 999 mm, obtidos com os valores simulados com o SISDA, mostram que há um déficit anual de 570 mm, o que pode vir a prejudicar o crescimento normal da cultura, levando, conseqüentemente, a possíveis perdas em produtividade. Os teores de umidade do solo para o equipamento de pivô central, durante o ano, para o manejo real e simulado, podem ser observados nas Figuras 4 e 5, respectivamente.

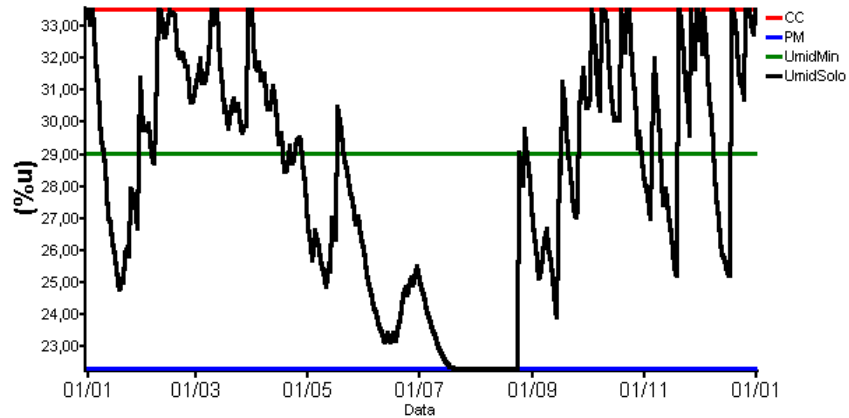


Figura 4 – Umidade do solo estabelecida com o manejo praticado na fazenda, no sistema de pivô central, no ano de 2001.

Na Figura 5, observam-se os valores de umidade do solo para o ano de 2001, quando adotado o SISDA para simular o manejo da água. Foi possível atender as demandas de água pela cultura do café durante o ano, mantendo os valores próximos à capacidade de campo, o que poderá proporcionar um melhor desenvolvimento vegetativo das plantas e, conseqüentemente, maiores produtividades.

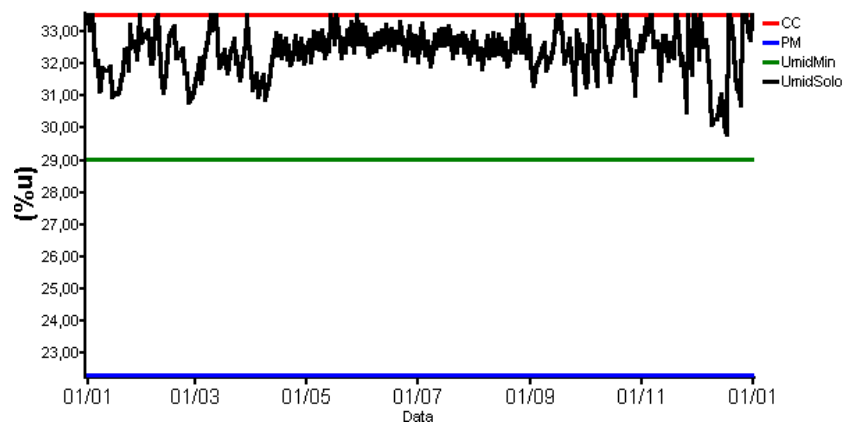


Figura 5 – Umidade do solo estabelecida com o manejo utilizando o SISDA, no sistema de pivô central, ano de 2001.



A Figura 6 apresenta os valores de precipitação anual (mm), evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) para a cultura do café, usando-se os equipamentos de irrigação do tipo pivô central e gotejamento.

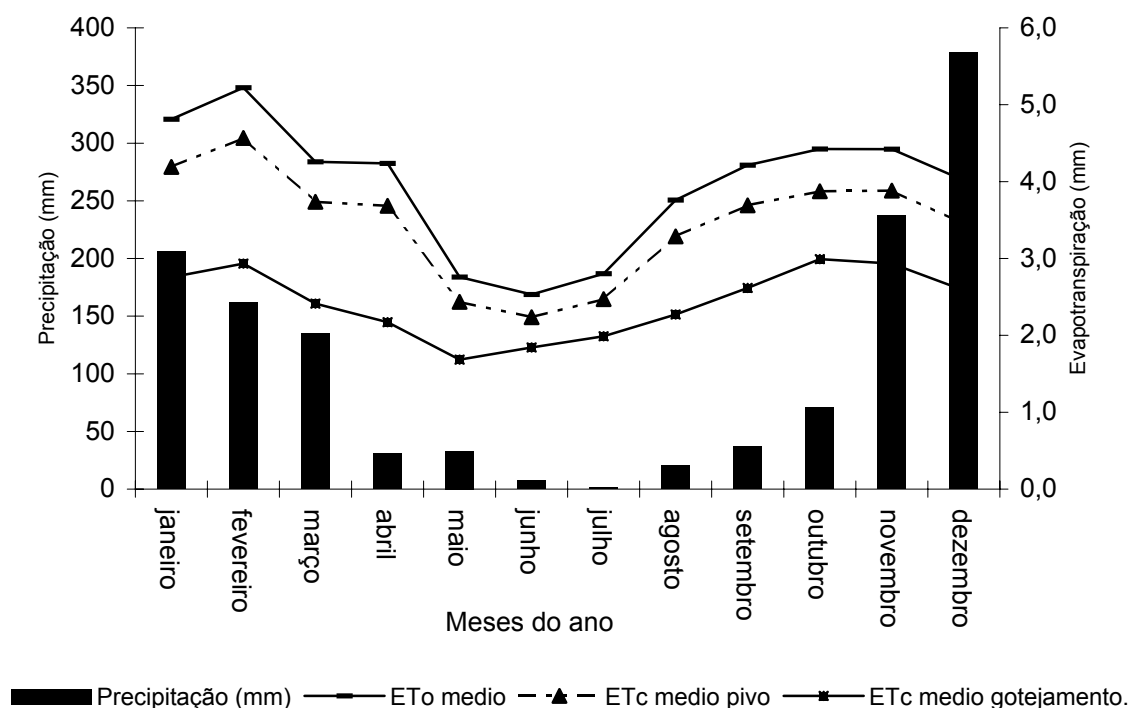


Figura 6 – Valor médio mensal de precipitação pluvial (mm), evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>, mm), evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) para a cultura do café irrigado por pivô central e gotejamento, ano agrícola de 2001.

Conforme se observa na Figura 6, os valores de ET<sub>o</sub> e ET<sub>c</sub>, para a cultura do café irrigada por pivô central e gotejamento, acompanham a distribuição anual de precipitação e a variação da temperatura (Quadro 8), sendo que, os valores de ET<sub>c</sub> para a cultura do café irrigada por pivô central aproximam-se dos valores determinados para ET<sub>o</sub>, o que decorre, principalmente, de as penalizações adotadas para correção de ET<sub>o</sub> terem pouca influência sobre os resultados obtidos e os teores de umidade no solo serem favoráveis ao bom desenvolvimento e produtividade da cultura, sendo as oscilações encontradas de 4,5 a 2,2 mm dia<sup>-1</sup>, nos meses de fevereiro e junho,

respectivamente. Em relação aos valores de ETc determinados para o sistema de gotejamento, os valores encontrados apresentam uma redução considerável, quando comparados aos valores médios de ETo. Isto é decorrente das penalizações adotadas, bem como dos reduzidos teores de umidade do solo, ocasionados pelas limitações do equipamento de gotejamento, não atendendo satisfatoriamente as necessidades hídricas da cultura, principalmente em relação ao valor de Ks (coeficiente de estresse), pois, em épocas de maiores necessidades hídricas da cultura, ocorre um maior déficit de água no solo, reduzindo consideravelmente os valores de ETc para o gotejamento, sendo alcançados valores máximo e mínimo de 2,9 a 1,6 mm dia<sup>-1</sup> nos meses de fevereiro e maio, respectivamente.

A ação da alimentação hídrica da planta sobre o funcionamento da cultura do café intervém num conjunto de fenômenos, principalmente nas respostas fisiológicas destinadas a regular seu estado hídrico, como a modificação do potencial hídrico, o fechamento de estômatos e a redução da superfície foliar. Tudo isso faz diminuir a demanda climática da cultura, reduzindo a possibilidade de produção de biomassa e, conseqüentemente, seu rendimento (SILVA et al., 2000).

### 4.3. Correção do rendimento dos motores elétricos devido à variação na amplitude e ao desequilíbrio da tensão

O Quadro 10, apresentando os rendimentos dos motores avaliados, determinados via catálogo do fabricante (WEG, 2001), e as respectivas reduções proporcionadas devido à variação da amplitude e devido ao desequilíbrio da tensão na rede elétrica para os sistemas de irrigação avaliados. Para o equipamento do tipo pivô central, as avaliações foram realizadas em diferentes posições de funcionamento, sendo que, para a posição sul, o equipamento operou em aclive, para a posição norte operou em declive e para leste e oeste operou em nível.

Quadro 10 - Rendimentos dos motores elétricos obtidos no catálogo do fabricante e corrigidos em função da variação da amplitude da tensão e devido ao desequilíbrio na rede elétrica para sistemas do tipo pivô central operando em diferentes condições de declividade e gotejamento

Equipamento	Potência nominal (cv)	Posição	Rendimento, $\eta$ (%)			
			$\eta^1$	$\eta^2$	$\eta^3$	$\eta^4$
Pivô central	175	Norte	92,10	91,81	92,08	91,79
		Sul	92,10	91,81	92,07	91,79
		Leste	92,10	91,80	92,07	91,78
		Oeste	92,10	91,81	92,08	91,79
Gotejamento	10	----	88,20	----	----	88,20
	40	----	89,52	89,50	88,76	88,74
	40	----	89,52	89,47	86,68	86,66

<sup>1</sup> rendimento do motor elétrico obtido no catálogo eletrônico. <sup>2</sup> perda de rendimento devido à variação da amplitude de tensão na linha <sup>3</sup> perda do rendimento devido ao desequilíbrio da tensão na rede elétrica. <sup>4</sup> rendimento total corrigido.

Com base nos valores apresentados no Quadro 10 para o equipamento do tipo pivô central, observa-se uma redução média no rendimento do motor de 0,34 %, ocorrendo uma maior influência do desequilíbrio da tensão na rede

elétrica sobre a redução do rendimento e, conseqüentemente, aumento nos gastos com consumo e demanda de energia elétrica. Um outro fator que está, diretamente, ligado à variação na amplitude e ao desequilíbrio seria a redução no tempo de vida do motor. Observou-se que os valores de tensão, apresentadas no Quadro 4, estavam acima dos valores da tensão nominal (380 V), podendo acarretar redução no fator de potência que, para este motor, foi 0,85. De acordo com a legislação atual, o fator de potência mínimo é de 0,92; assim, aos consumidores que estiverem operando abaixo deste valor são taxadas penalizações financeiras. (Portaria do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE número 1569, de 23 de novembro de 1993, citado por PROCEL, 1998).

Para o equipamento do tipo gotejamento, o rendimento determinado via catálogo do fabricante, foi 89,5 % para ambos os motores. Devido à influência da variação na amplitude de tensão, os rendimentos caíram para 89,4 %, queda de 0,02 % observada para os motores de 40 cv. Sendo a redução maior no rendimento influenciada pelo desequilíbrio da tensão na rede elétrica, que ocasionaram redução de 1,0 e 3,1 % no rendimento para os motores de 40 cv, respectivamente. A perda total no rendimento foi de 1,0 e 3,2 % para os dois motores.

Para o primeiro motor de 40 cv, os valores de tensão, apresentadas no Quadro 4, encontram-se acima da tensão nominal (380 V), podendo ocorrer problemas semelhantes aos citados para o motor do pivô central. Para o segundo motor de 40 cv, os valores de tensão determinados no campo, estão abaixo da tensão nominal, o que pode levar a um aumento na corrente e na temperatura do motor. Para o motor de 10 cv do equipamento de gotejamento, não foi realizada esta avaliação.

Um dos grandes problemas determinados pela redução no rendimento dos motores elétricos é o aumento nos gastos anuais com consumo e demanda de energia elétrica. A tensão da rede deve ser regularmente monitorada e, quando necessário, devem ser feitas às correções.

#### 4.4. Racionalização do uso de energia elétrica em sistemas de irrigação do tipo pivô central e gotejamento

##### 4.4.1. Adequação do uso de força motriz

No presente estudo, tanto para o manejo da irrigação real quanto para os valores simulados pelo SISDA, realizou-se uma análise da situação atual dos motores-padrão, em uso, e uma análise para as substituições propostas dos motores, mantendo-se o sistema de bombeamento. Analizou-se a viabilidade da substituição dos motores-padrão por:

- (i) motores-padrão adequados à condição de carga;
- (ii) motores de alto rendimento de mesma potência; e
- (iii) motores de alto rendimento adequados à condição de carga.

Os dados técnico-econômicos da substituição dos motores-padrão em uso por motores-padrão adequados, avaliados para o manejo real da irrigação, são apresentados no Quadro 11.

Quadro 11 - Dados técnico-econômicos da substituição dos motores-padrão em uso por motores-padrão adequados à condição de carga, utilizando o manejo real praticado na fazenda, ano de 2001

Equipamento	padrão (em uso)									padrão adequado		Índices econômicos	
	hano <sup>-11</sup>	Pot <sup>2</sup> (cv)	IC <sup>3</sup> (%)	$\eta^4$ (%)	GEEH <sup>5</sup> (R\$/MJ)	Pot <sup>2</sup> (cv)	IC <sup>3</sup> (%)	$\eta^4$ (%)	GEEH <sup>5</sup> (R\$/MJ)	TIR <sup>6</sup> (%)	TRC <sup>7</sup> (anos)		
Pivô Central	1.405	175	93	92,1	0,02539	175	93	92,1	----	----	----		
	2.753	10	77	88,2	0,08898	10	77	88,2	----	----	----		
Gotejamento	2.753	40	65	89,5	0,04964	30	86	89,8	0,04851	nc	*		
	2.753	40	70	89,5	0,05309	30	93	89,8	0,05232	nc	*		

<sup>1</sup> número de horas de funcionamento anual (manejo real), <sup>2</sup> potência dos motores elétricos, <sup>3</sup> índice de carregamento, <sup>4</sup> rendimento, <sup>5</sup> gastos específicos com energia hidráulica útil, <sup>6</sup> taxa interna de retorno e <sup>7</sup> tempo de retorno do capital, \* tempo de retorno é imediato, nc - não converge.

De acordo com os valores apresentados no Quadro 11, torna-se viável, sob o ponto de vista técnico-econômico, a adequação de força motriz onde é indicada a substituição dos motores atuais do tipo padrão por motores-padrão adequados à condição de carga para os dois motores de 40 cv utilizados no equipamento de gotejamento. Quando avaliados os resultados dos índices econômicos, os valores de taxa interna de retorno (TIR), não convergem. Isto decorre do fato de o valor presente líquido (VPL) das substituições ser sempre positivo, conseqüentemente, o tempo de retorno do capital (TRC), que é o tempo necessário para que o valor investido na troca seja recuperado, é imediato. Isso se deve ao fato de que, para as substituições propostas, ocorre uma redução na potência nominal e aumento no rendimento dos motores indicados, o que resulta em redução no preço de aquisição e também nos gastos com energia elétrica, gerando um saldo positivo no fluxo de caixa para o início da avaliação.

Um outro fator avaliado na adequação de força motriz se refere aos gastos específicos com energia hidráulica útil (GEEH). Este é um fator que mede o valor presente líquido dos gastos com energia elétrica em relação à energia hidráulica útil do motor, que, nesta avaliação, apresentou menores gastos para os motores de 30 cv do equipamento de gotejamento os quais foram indicados em substituição aos motores atuais de 40 cv, sendo de interesse na avaliação, bem como por parte dos usuários.

Para os outros dois motores (10 e 175 cv) avaliados, a substituição é considerada inviável, principalmente devido à limitação de potência dos motores hoje disponíveis no mercado.

O Quadro 12 apresenta os valores obtidos na análise técnica-econômica proposta para substituição dos motores-padrão em uso por motores-padrão adequados à condição de carga, com o número de horas de funcionamento anual indicado pelo manejo simulado com o SISDA, o que, significa otimizar o número de horas de funcionamento dos motores, atendendo, plenamente, às necessidades hídricas da cultura do café e mantendo os teores de umidade do solo próximos à capacidade de campo e, conseqüentemente, podendo promover aumento na produtividade da cultura.

Observa-se uma semelhança aos valores observados no Quadro 11, com um fator de importância relevante, o GEEH, que reduziu, devido ao fato, de o número de horas de funcionamento de cada motor ter sido otimizado, ou

seja, está havendo um maior aproveitamento do número de horas de funcionamento anual de cada motor avaliado.

Quadro 12 - Dados técnico-econômicos da substituição dos motores-padrão em uso por motores-padrão adequados à condição de carga, para o manejo simulado pelo SISDA, ano de 2001

Equipamento	padrão (em uso)					padrão adequados					Índices econômicos	
	hano <sup>-11</sup>	Pot <sup>2</sup>	IC <sup>3</sup>	$\eta^4$	GEEH <sup>5</sup>	Pot <sup>2</sup>	IC <sup>3</sup>	$\eta^4$	GEEH <sup>5</sup>	TIR <sup>6</sup>	TRC <sup>7</sup>	
	(cv)	(%)	(%)	(R\$/MJ)	(cv)	(%)	(%)	(R\$/MJ)	(%)	(anos)		
Pivô central	3.271	175	93	92,1	0,01472	175	93	92,1	----	----	----	
	5.247	10	77	88,2	0,06822	10	77	88,2	----	----	----	
Gotejamento	5.247	40	65	89,5	0,03799	30	86	89,8	0,03726	nc	*	
	5.247	40	70	89,5	0,04067	30	93	89,8	0,04022	nc	*	

<sup>1</sup> número de horas de funcionamento anual (manejo SISDA), <sup>2</sup> potência dos motores elétricos, <sup>3</sup> índice de carregamento, <sup>4</sup> rendimento, <sup>5</sup> gastos específicos com energia hidráulica útil, <sup>6</sup> taxa interna de retorno e <sup>7</sup> tempo de retorno do capital, \* tempo de retorno é imediato, nc - não converge.

A Análise dos valores dos índices econômicos (TIR e TRC), para os dois motores de 40 cv, tornaram-se viáveis as substituições propostas, possibilitando ao empresário agrícola obter uma economia anual do fator energia elétrica.

Outra alternativa analisada para redução nos gastos com consumo e demanda de energia elétrica foi à substituição dos motores-padrão em uso, por motores de alto rendimento e mesma potência. Nos Quadros 13 e 14, são apresentados dados técnico-econômicos dessa alternativa proposta para a adequação de força motriz, avaliada para o número de horas empregadas no manejo real, adotadas na fazenda, bem como para o número de horas simuladas pelo SISDA.

Considerando os valores apresentados para o equipamento de pivô central no Quadro 13, sob o ponto de vista técnico-econômico, quando analisada a proposta para substituição do motor padrão em uso pelo motor de

alto rendimento de mesma potência, obteve-se um valor de TIR de 98 %, tornando-se a substituição viável e atrativa para o empresário agrícola, podendo o valor investido na troca ser recuperado após um período de 1,1 anos.

Quadro 13 - Dados técnico-econômicos da substituição dos motores-padrão em uso por motores de alto rendimento e mesma potência, para o manejo real praticado na fazenda, ano de 2001

Equipamento	padrão (em uso)					motor de alto rendimento				Índices econômicos	
	hano <sup>-1</sup>	Pot <sup>2</sup>	IC <sup>3</sup>	$\eta^4$	GEEH <sup>5</sup>	Pot <sup>2</sup>	IC <sup>3</sup>	$\eta^4$	GEEH <sup>5</sup>	TIR <sup>6</sup>	TRC <sup>7</sup>
	(cv)	(%)	(%)	(R\$/MJ)	(cv)	(%)	(%)	(R\$/MJ)	(%)	(anos)	
Pivô central	1.405	175	93	92,1	0,02539	175	93	94,8	0,02483	98,0	1,1
	2.753	10	77	88,2	0,08898	10	77	90,1	0,08889	10,0	6,4
Gotejamento	2.753	40	65	89,5	0,04964	40	65	92,1	0,04888	32,0	3,1
	2.753	40	70	89,5	0,05309	40	70	92,1	0,05242	30,0	3,2

<sup>1</sup> número de horas de funcionamento anual (manejo real), <sup>2</sup> potência dos motores elétricos, <sup>3</sup> índice de carregamento, <sup>4</sup> rendimento, <sup>5</sup> gastos específicos com energia hidráulica útil, <sup>6</sup> taxa interna de retorno e <sup>7</sup> tempo de retorno do capital.

Para o equipamento de gotejamento, quando proposta a substituição dos motores-padrão por motores de alto rendimento e mesma potência, obtiveram-se valores de TIR de 10, 32 e 30 %, para os motores de 10, 40 e 40 cv, respectivamente, quando avaliada a substituição, sendo que o valor investido (com a substituição) poderá ser recuperado após um período de 6,4, 3,1 e 3,2 anos para os motores de 10, 40 e 40 cv, indicados para a substituição, respectivamente. O fator que influenciou esse resultado foi o maior rendimento dos motores indicados para substituir os motores atuais, obtendo, assim, maior economia anual com o consumo e com a demanda de energia elétrica.

Em relação aos GEEH, observa-se uma redução de 2,5 % para o motor utilizado no pivô central e de 1 % para os motores utilizados no gotejamento.

O Quadro 14 apresenta os resultados das substituições dos motores-



padrão por motores de alto rendimento e mesma potência, otimizando o número de horas de funcionamento pela adoção dos valores simulados pelo programa SISDA. Observa-se que todas as substituições propostas para os motores foram, economicamente viáveis.

Quadro 14 - Dados técnico-econômicos da substituição dos motores-padrão em uso, por motores de alto rendimento, de mesma potência, para o manejo simulado utilizando o SISDA, ano de 2001

Equipamento	padrão (em uso)					motor de alto rendimento				Índices econômicos	
	hano <sup>-1</sup>	Pot <sup>2</sup>	IC <sup>3</sup>	$\eta^4$	GEEH <sup>5</sup>	Pot <sup>2</sup>	IC <sup>3</sup>	$\eta^4$	GEEH <sup>5</sup>	TIR <sup>6</sup>	TRC <sup>7</sup>
	(cv)	(%)	(%)	(R\$/MJ)	(cv)	(%)	(%)	(R\$/MJ)	(%)	(anos)	
Pivô central	3.271	175	93	92,1	0,01472	175	93	94,8	0,01438	133	0,9
	5.247	10	77	88,2	0,06822	10	77	90,1	0,06778	21,0	4,2
Gotejamento	5.247	40	65	89,5	0,03799	40	65	92,1	0,03725	49,0	2,2
	5.247	40	70	89,5	0,04067	40	70	92,1	0,03999	46,0	2,2

<sup>1</sup> número de horas de funcionamento anual (manejo SISDA), <sup>2</sup> potência dos motores elétricos, <sup>3</sup> índice de carregamento, <sup>4</sup> rendimento, <sup>5</sup> gastos específicos com energia hidráulica útil, <sup>6</sup> taxa interna de retorno e <sup>7</sup> tempo de retorno do capital.

Com base nos valores obtidos no Quadro 14 para o equipamento de pivô central, a substituição proposta do motor padrão em uso por outro de alto rendimento e mesma potência proporciona um valor de TIR de 133 %, tornando a substituição viável e atrativa para o empresário agrícola, podendo o valor investido na troca ser recuperado após um período 0,9 anos.

Para o equipamento de gotejamento, quando analisada a proposta de substituição dos motores atuais do tipo padrão, por motores de alto rendimento e mesma potência, obtiveram-se valores de TIR de 21, 49 e 46 %, para os motores de 10, 40 e 40 cv, indicados para a substituição, respectivamente. O valor investido com a substituição pode ser recuperado após um período de 4,2, 2,2 e 2,2 anos para os motores de 10, 40 e 40 cv, indicados para a substituição, respectivamente. O fator que influenciou esse resultado foi o maior rendimento dos motores indicados para substituir os motores atuais,

proporcionando maior economia anual com o consumo e com a demanda de energia elétrica.

Em relação aos GEEH, observa-se que, com as substituições propostas, é possível obter uma redução de 2,5 % para o motor utilizado no pivô central e de 1 % para os motores utilizados no gotejamento.

Analisando os dados apresentados no Quadro 13 (manejo real), comparativamente aos valores apresentados no Quadro 14 (manejo simulado), um fator relevante foi que, devido ao aumento no número de horas anuais de funcionamento dos equipamentos avaliados para o manejo simulado com o SISDA, os índices avaliados de TIR elevaram-se em 35,0, 110,0, 53,1 e 53,3 % para os motores de 175, 10, 40 e 40 cv, respectivamente, quando comparados aos mesmos índices obtidos com o manejo real, ocorrendo uma redução no TRC de 0,2, 2,2, 0,9 e 1,0 anos, para os mesmos motores. Tal fato foi devido à ocorrência de otimização no número de horas anuais de funcionamento de cada equipamento.

Com a adoção dos valores simulados com o SISDA, pode-se obter uma considerável redução nos valores de GEEH, o que atende aos interesses dos usuários, em virtude do maior aproveitamento dos equipamentos avaliados.

Uma última alternativa estudada para adequação de força motriz, visando à redução dos gastos com energia elétrica, foi à substituição dos motores-padrão em uso na propriedade, por motores de alto rendimento adequados à condição de carga. Nos Quadros 15 e 16, são apresentados os valores dos dados técnico-econômicos dessa alternativa de adequação de força motriz, avaliado para o manejo real e simulado, respectivamente.

De acordo com os valores apresentados no Quadro 15, sob o ponto de vista técnico-econômico, para o equipamento de pivô central, quando analisada a proposta para substituição do motor padrão em uso por motor de alto rendimento adequado à condição de carga, obteve-se valor de TIR de 98 %, tornando-se a substituição viável e atrativa para o empresário agrícola, pois o valor investido na troca poderá ser recuperado após um período de 1,1 anos.

Quadro 15 - Dados técnico-econômicos das substituições dos motores-padrão em uso por motores de alto rendimento adequados à condição de carga, para o manejo real praticado na propriedade, ano de 2001

Equipamento	padrão (em uso)					alto rendimento adequado				Índices econômicos	
	hano <sup>-1</sup>	Pot <sup>2</sup>	IC <sup>3</sup>	$\eta^4$	GEEH <sup>5</sup>	Pot <sup>2</sup>	IC <sup>3</sup>	$\eta^4$	GEEH <sup>5</sup>	TIR <sup>6</sup>	TRC <sup>7</sup>
	(cv)	(%)	(%)	(R\$/MJ)	(cv)	(%)	(%)	(R\$/MJ)	(%)	(anos)	
Pivô central	1.405	175	93	92,1	0,02539	175	93	94,8	0,02483	98	1,1
	2.753	10	77	88,2	0,08898	10	77	89,8	0,08889	10	6,4
Gotejamento	2.753	40	65	89,5	0,04964	30	86	91,5	0,04822	1.662	*
	2.753	40	70	89,5	0,05309	30	93	91,5	0,05196	1.331	*

<sup>1</sup> número de horas de funcionamento anual (manejo real), <sup>2</sup> potência dos motores elétricos, <sup>3</sup> índice de carregamento, <sup>4</sup> rendimento, <sup>5</sup> gastos específicos com energia hidráulica útil, <sup>6</sup> taxa interna de retorno e <sup>7</sup> tempo de retorno do capital. \* tempo de retorno é imediato.

Para o equipamento de gotejamento, quando analisada a proposta de substituição dos motores atuais do tipo padrão, por motores de alto rendimento adequados, obtiveram-se valores de TIR de 10, 1.662 e 1.331 %, para os motores de 10, 30 e 30 cv, respectivamente, em relação aos motores atuais de 10, 40 e 40 cv, quando avaliada a substituição. O valor investido com a substituição pode ser recuperado, após um período de 6,4 anos, para o motor de 10 cv e é imediato para a substituição proposta dos motores de 40 cv. O fator que influenciou este resultado foi a menor potência nominal e o maior rendimento dos motores indicados para substituir os motores atuais, obtendo, assim, maior economia anual com o consumo e com a demanda de energia elétrica.

Em relação aos GEEH, observa-se que as substituições propostas podem levar a uma redução de 2,2 %, para o motor utilizado no pivô central, e de 0,2, 2,8 e 2,1 % para os motores de 10, 30 e 30 cv, indicados na substituição proposta, respectivamente, utilizados no gotejamento, sendo, portanto, um fator de relevância no momento de decidir a ordem de substituição dos motores.

O Quadro 16 apresenta os dados técnico-econômicos das substituições dos motores-padrão em uso por motores de alto rendimento adequados à

condição de carga, para valores de manejo simulado pelo programa SISDA.

Quadro 16 - Dados técnico-econômicos da substituição dos motores-padrão em uso, por motores de alto rendimento adequados à condição de carga, para o manejo simulado pelo SISDA, ano de 2001

Equipamento	padrão (em uso)					alto rendimento adequados				Índices econômicos	
	hano <sup>-1</sup>	Pot <sup>2</sup> (cv)	IC <sup>3</sup> (%)	$\eta$ <sup>4</sup> (%)	GEEH <sup>5</sup> (R\$/MJ)	Pot <sup>2</sup> (cv)	IC <sup>3</sup> (%)	$\eta$ <sup>4</sup> (%)	GEEH <sup>5</sup> (R\$/MJ)	TIR <sup>6</sup> (%)	TRC <sup>7</sup> (anos)
Pivô central	3.271	175	93	92,1	0,01472	175	93	94,8	0,01438	133	0,9
	5.247	10	77	88,2	0,06822	10	77	89,8	0,06778	21,0	4,2
Gotejamento	5.247	40	65	89,5	0,03799	30	86	91,5	0,03690	2.428	*
	5.247	40	70	89,8	0,04067	30	93	91,5	0,03980	1.939	*

<sup>1</sup> número de horas de funcionamento anual (manejo SISDA), <sup>2</sup> potência dos motores elétricos, <sup>3</sup> índice de carregamento, <sup>4</sup> rendimento, <sup>5</sup> gastos específicos com energia hidráulica útil, <sup>6</sup> taxa interna de retorno e <sup>7</sup> tempo de retorno do capital. \* tempo de retorno é imediato.

Para o equipamento de pivô central, observa-se que a substituição proposta do motor padrão em uso por outro de alto rendimento adequado, proporcionou um valor de TIR de 133 %, portanto, esta é uma substituição viável e atrativa para o empresário agrícola, pois, o valor investido na substituição será recuperado após um período 0,9 anos.

Para o equipamento de gotejamento, quando analisada a proposta de substituição dos motores atuais do tipo padrão, por motores de alto rendimento adequados, obtiveram-se valores de TIR de 21, 2.428 e 1.939 %, para os motores de 10, 30 e 30 cv, respectivamente, quando avaliada a substituição proposta. O valor investido com a troca pode ser recuperado após um período de 4,2 anos para o motor de 10, é dito imediato para as substituições propostas dos motores de 40 cv. O fator que influenciou esta viabilidade econômica foi o maior rendimento e menor potência nominal encontrados nos motores indicados para substituir os motores atuais, proporcionando, assim, maior economia anual com o consumo e com a demanda de energia elétrica.

Em relação aos GEEH, as substituições propostas podem proporcionar

uma redução de 2,3 % para o motor utilizado no pivô central e de 0,6, 2,8 e 2,1 % para os motores de 10, 30 e 30 cv, respectivamente, indicados na substituição proposta para o equipamento de gotejamento.

Quando analisados os dados apresentados no Quadro 15 (manejo real), em relação aos valores apresentados no Quadro 16 (manejo simulado), um fator relevante foi que, devido ao aumento no número anual de horas de funcionamento dos equipamentos avaliados para o manejo simulado com o SISDA, os índices avaliados de TIR elevaram-se em 35,0, 110,0, 46,0 e 45,6 % para os motores de 175, 10, 40 e 40 cv, respectivamente, comparativamente aos mesmos índices obtidos com o manejo real, ocorrendo uma redução no TRC de 0,2, 2,2 anos, para os motores de 175 e 10 cv, respectivamente. Tal fato é devido à ocorrência de otimização no número anual de horas de funcionamento de cada equipamento, quando o número de horas de funcionamento de cada equipamento aumentou.

A adoção dos valores simulados com o SISDA possibilita obter uma redução considerável nos valores de GEEH, sendo, portanto, interessante para os usuários, em virtude de um maior aproveitamento dos equipamentos avaliados.

Fazendo uma síntese do estudo, em que se adotou a adequação de força motriz como forma de racionalização de energia elétrica, observou-se que, em todas as substituições propostas dos motores atuais do tipo padrão em uso na propriedade, tanto nas condições reais de uso quanto nas simuladas pelo SISDA, pode-se obter uma economia considerável no consumo e demanda de energia elétrica. Trata-se, portanto, de uma proposta técnica e economicamente viável, pois, o produtor poderá obter maior economia de recursos no processo produtivo, além da possibilidade de redução nos eminentes riscos de racionamento de energia elétrica para os diferentes usuários.

#### 4.4.2. Adequação dos conjuntos motobomba

O outro fator relevante na racionalização do uso de energia elétrica seria a adequação dos conjuntos motobombas, ou seja, a substituição dos conjuntos motobombas atuais utilizados nos equipamentos de irrigação da fazenda por conjuntos motobombas adequados à condição de projeto, que possibilitem maiores economias, principalmente de energia elétrica, além da otimização na eficiência dos equipamentos de irrigação. Esta análise baseou-se nas especificações técnicas dos projetos, fornecidas pelo empresário agrícola.

Os resultados obtidos para o manejo real e simulado, com a substituição dos conjuntos motobombas em uso na fazenda por outros mais adequados, indicados pelo software AGRIBOMBAS (2000), são apresentados nos Quadros 17 e 18.

Quadro 17 - Dados técnico-econômicos da substituição dos conjuntos motobomba em uso na propriedade por outros mais adequados, para o manejo real praticado na propriedade, ano de 2001

Equipamento	motobomba atuais					motobomba adequados					Índices econômicos	
	hano <sup>-1</sup>	Pot <sup>2</sup>	IC <sup>3</sup>	η <sup>4</sup>	GEEH <sup>5</sup>	Pot <sup>2</sup>	IC <sup>3</sup>	η <sup>4</sup>	GEEH <sup>5</sup>	TIR <sup>6</sup>	TRC <sup>7</sup>	
	(cv)	(%)	(%)	(R\$/MJ)	(cv)	(%)	(%)	(R\$/MJ)	(%)	(anos)		
Pivô central	1.405	175	93	92,1	0,02539	150	95	94,1	0,02395	nc	*	
	2.753	10	77	88,2	0,08898	3	93	85,2	0,03466	nc	*	
Gotejamento	2.753	40	65	89,5	0,04964	20	91	92,1	0,03378	nc	*	
	2.753	40	70	89,5	0,05309	20	91	92,1	0,03378	nc	*	

<sup>1</sup> número de horas de funcionamento anual (manejo real), <sup>2</sup> potência dos motores elétricos, <sup>3</sup> índice de carregamento, <sup>4</sup> rendimento, <sup>5</sup> gastos específicos com energia hidráulica útil, <sup>6</sup> taxa interna de retorno, <sup>7</sup> tempo de retorno do capital, nc – não converge e \* tempo de retorno é imediato.

De acordo com os valores apresentados no Quadro 17, sob o ponto de vista técnico-econômico, para o equipamento de pivô central, quando analisada a proposta para substituição do conjunto motobomba atual em uso por outro mais adequado ao projeto, o valor de TIR é dito que não converge, para o

motor de 150 cv indicado para a substituição, isso se deve ao fato do valor presente líquido (VPL), ser sempre positivo para a análise em questão, o que reflete, para o empresário agrícola, a viabilidade e atratividade da substituição proposta, pois, os valores investidos na troca podem ser recuperados imediatamente para a substituição proposta.

Para o equipamento de gotejamento, quando analisada a proposta de substituição das motobombas atuais, em uso, para os valores de TIR é dito que não convergem, para os motores de 3, 20 e 20 cv indicados na substituição, respectivamente, devido ao fato do VPL ser sempre positivo, o que reflete, para o empresário agrícola, a viabilidade e atratividade das substituições propostas, pois, os valores investidos nas trocas podem ser recuperados imediatamente para as substituições propostas, ou seja, o TRC é dito imediato, isso devido ao fluxo líquido ser sempre positivo. O fator que influenciou esta viabilidade econômica foi a menor potência nominal e o maior rendimento dos motores indicados para substituir os motores atuais, proporcionando maior economia anual com o consumo e demanda de energia elétrica.

Em relação aos GEEH, observa-se que, com as substituições propostas, pode-se obter uma redução nos mesmos de 5,6 % para o motor utilizado no pivô central e de 61,0, 31,9 e 36,3 % para os motores de 3, 20 e 20 cv, respectivamente, utilizados no gotejamento, sendo um fator de relevância no momento de analisar a ordem de substituição dos motores.

Os resultados obtidos para o manejo simulado com as substituições dos conjuntos motobomba em uso na propriedade por outros mais adequados, indicados pelo software AGRIBOMBAS (2000), são apresentados no Quadro 18.

Para o equipamento de pivô central, quando analisada a proposta para substituição do conjunto motobomba atual em uso por outro mais adequado ao projeto, o valor de TIR é dito que não converge, para o motor de 150 cv indicado para a substituição, isso se deve ao fato do valor presente líquido (VPL), ser sempre positivo para a análise em questão, o que reflete, para o empresário agrícola, a viabilidade e atratividade da substituição proposta, pois, os valores investidos na troca podem ser recuperados imediatamente para a substituição proposta.

Para o equipamento de gotejamento, quando analisada a proposta de substituição das motobombas atuais, em uso, para os valores de TIR é dito que

não convergem, para os motores de 3, 20 e 20 cv indicados na substituição, respectivamente, devido ao fato do VPL ser sempre positivo, o que reflete, para o empresário agrícola, a viabilidade e atratividade das substituições propostas, pois, os valores investidos nas trocas podem ser recuperados imediatamente, ou seja, o TRC é dito imediato, isso devido ao fluxo líquido ser sempre positivo. O fator que influenciou esta viabilidade econômica foi a menor potência nominal e o maior rendimento dos motores indicados para substituir os motores atuais, proporcionando maior economia anual com o consumo e demanda de energia elétrica.

Quadro 18 - Dados técnico-econômicos da substituição dos conjuntos motobomba em uso na propriedade por conjuntos motobomba adequados, para o manejo simulado pelo SISDA, ano de 2001

Equipamento	motobomba atual					motobomba adequados					Índices econômicos	
	hano <sup>-11</sup>	Pot <sup>2</sup> (cv)	IC <sup>3</sup> (%)	$\eta^4$ (%)	GEEH <sup>5</sup> (R\$/MJ)	Pot <sup>2</sup> (cv)	IC <sup>3</sup> (%)	$\eta^4$ (%)	GEEH <sup>5</sup> (R\$/MJ)	TIR <sup>6</sup> (%)	TRC <sup>7</sup> (anos)	
Pivô Central	3.271	175	93	92,1	0,01472	150	95	94,1	0,01316	nc	*	
	5.247	10	77	88,2	0,06822	3	93	85,2	0,02626	nc	*	
Gotejamento	5.247	40	65	89,5	0,03799	20	91	92,1	0,02584	nc	*	
	5.247	40	70	89,5	0,04067	20	91	92,1	0,02584	nc	*	

<sup>1</sup> número de horas de funcionamento anual (manejo SISDA), <sup>2</sup> potência dos motores elétricos, <sup>3</sup> índice de carregamento, <sup>4</sup> rendimento, <sup>5</sup> gastos específicos com energia hidráulica útil, <sup>6</sup> taxa interna de retorno e <sup>7</sup> tempo de retorno do capital, nc – não converge \* tempo de retorno é imediato.

Em relação aos GEEH, as substituições propostas levam a uma redução de 10,5 %, para o motor utilizado no pivô central, e de 61,5, 32 e 36,4 % para os motores de 3, 20 e 20 cv, respectivamente, indicados na substituição proposta para o equipamento de gotejamento.

Os valores simulados com o SISDA, possibilitaram obter redução nos valores de GEEH, sendo interessante para os usuários, pois há um melhor aproveitamento dos equipamentos avaliados.



Fazendo-se uma síntese do estudo, em que se adotou a adequação do sistema de bombeamento como forma de racionalização do uso de energia elétrica, observou-se que, em todas as substituições propostas dos conjuntos motobombas em uso na propriedade, pode-se obter uma economia considerável no consumo e demanda de energia elétrica. Portanto, trata-se de uma proposta técnica e economicamente viável, pois, o produtor pode obter maiores economias no processo produtivo, além da possibilidade de redução no consumo, favorecer eventuais necessidades de economia de energia, face aos eminentes riscos de racionamento de energia elétrica para os diferentes usuários.

#### 4.5. Gastos anuais com consumo e demanda de energia elétrica

A seguir, são apresentados os gastos anuais com consumo e demanda de energia elétrica para os motores-padrão, em uso na propriedade, motores de alto rendimento adequados à condição de carga (sendo a melhor opção determinada para adequação de força motriz), bem como os gastos com consumo e demanda anuais de energia elétrica para a substituição proposta dos conjuntos motobombas atuais por outros mais adequados às condições de projeto.

Quadro 19 - Características dos motores-padrão em uso na propriedade, com o manejo real, gastos com consumo e demanda de energia

Equipamento	Pot <sup>1</sup> (cv)	IC <sup>2</sup> (%)	hano <sup>-13</sup>	$\eta^4$ (%)	CON <sup>5</sup> (hfp) (R\$/ano)	CON <sup>6</sup> (not) (R\$/ano)	DEM <sup>7</sup> (R\$/ano)	Total (R\$/ano)	GEEH <sup>8</sup> (R\$/MJ)
Pivô central	175	93	1.405	92,1	5.282,0	888,7	7.733,3	13.904,2	0,02539
	10	77	2.753	88,2	1.070,9	132,5	728,7	1.932,2	0,08898
Gotejamento	40	65	2.753	89,5	3.562,9	440,9	2.424,3	6.428,3	0,04964
	40	70	2.753	89,5	3.822,9	473,1	2.601,2	6.897,4	0,05309

<sup>1</sup>potência dos motores elétricos, <sup>2</sup>índice de carregamento, <sup>3</sup>número de horas de funcionamento anual, <sup>4</sup>rendimento dos motores elétricos, <sup>5</sup>gastos com consumo de energia elétrica no horário fora de ponta, <sup>6</sup>gastos com consumo de energia elétrica no período noturno, <sup>7</sup>gastos com demanda de energia elétrica e <sup>8</sup>gastos específicos com energia hidráulica útil.

De acordo com os valores obtidos (Quadro 19), o gasto anual total com energia elétrica para o manejo real, utilizando os motores atuais do tipo padrão foi de R\$ 13.904,21 e R\$ 15.258,02 para os equipamentos do tipo pivô central (45,6 ha) e gotejamento (53 ha), respectivamente. Comparando os valores apresentados no Quadro19 com aqueles apresentados no Quadro 20, em que constam os mesmos gastos, embora utilizando motores de alto rendimento adequados à condição de carga, verifica-se que foram de R\$ 13.535,17 e R\$ 14.886,48, havendo uma redução de 2,6 e 2,4 % para os equipamentos de pivô central e gotejamento, respectivamente. Observou-se, também, uma

redução nos gastos específicos com energia hidráulica útil (GEEH) da ordem de 2,2 % para o motor do pivô central e de 0,2, 2,8 e 2,1% para os motores de 10, 30 e 30 cv, respectivamente propostos para a substituição, para o equipamento de gotejamento.

A redução nos gastos anuais com consumo e demanda pode ser atribuída ao aumento no rendimento dos motores indicados para substituição, bem como à redução da potência nominal, no caso dos dois motores de 40 cv do gotejamento.

Quadro 20 - Características dos motores de alto rendimento adequados, com o manejo real, gastos com consumo e demanda de energia

Equipamento	Pot <sup>1</sup> (cv)	IC <sup>2</sup> (%)	hano <sup>-13</sup>	$\eta^4$ (%)	CON <sup>5</sup> (hfp) (R\$/ano)	CON <sup>6</sup> (not) (R\$/ano)	DEM <sup>7</sup> (R\$/ano)	Total (R\$/ano)	GEEH <sup>8</sup> (R\$/MJ)
Pivô central	175	93	1.405	94,4	5.141,8	865,1	7.528,1	13.535,1	0,02483
	10	77	2.753	89,8	1.051,3	130,1	715,3	1.896,7	0,08889
Gotejamento	30	86	2.753	91,5	3.454,0	428,1	2.353,6	6.240,8	0,04822
	30	93	2.753	91,5	3.740,6	462,9	2.545,2	6.748,8	0,05196

<sup>1</sup> Potência dos motores elétricos, <sup>2</sup> Índice de carregamento, <sup>3</sup> número de horas de funcionamento anual, <sup>4</sup> rendimento dos motores elétricos, <sup>5</sup> gastos com consumo de energia elétrica no horário fora de ponta, <sup>6</sup> gastos com consumo de energia elétrica no período noturno, <sup>7</sup> gastos com demanda de energia elétrica e <sup>8</sup> gastos específicos com energia hidráulica útil.

O Quadro 21 apresenta os gastos com consumo e demanda de energia elétrica para os conjuntos motobombas adequados, indicados como melhor opção para a substituição proposta na adequação dos sistemas de bombeamento.

Comparando os valores apresentados no Quadro 21 com aqueles apresentados no Quadro 19, a substituição dos conjuntos motobombas atuais por conjuntos motobombas adequados às condições de projeto, proporciona uma economia de R\$ 1.888,10 para o sistema de pivô central e de R\$ 5.791,00 para o sistema de gotejamento. Isto significa que, em valores percentuais, alcançou-se uma economia de 13,5 e 37,9 % para o equipamento de pivô central e gotejamento, respectivamente. Essa economia gerada é de extrema

importância para o empresário agrícola e para a sociedade em geral, pois, ao reduzir a demanda por energia elétrica, conseqüentemente reduz os riscos de uma nova onda de racionamento de energia. Para os valores de GEEH, a redução foi de 5,6 % para o motor utilizado no pivô central e de 61,0; 31,9 e 36,3 % para os motores de 3, 20 e 20 cv, utilizados com a substituição proposta para o equipamento de gotejamento.

Quadro 21 - Características dos conjuntos motobomba adequados, com o manejo real, gasto com consumo e demanda de energia

Equipamento	Pot <sup>1</sup> (cv)	IC <sup>2</sup> (%)	hano <sup>-13</sup>	$\eta^4$ (%)	CON <sup>5</sup> (hfp) (R\$/ano)	CON <sup>6</sup> (not) (R\$/ano)	DEM <sup>7</sup> (R\$/ano)	Total (R\$/ano)	GEEH <sup>8</sup> (R\$/MJ)
Pivô central	150	95	1.405	94,1	4.316,9	726,3	6.320,3	12.016,1	0,02395
	3	93	2.753	85,2	401,5	49,7	273,2	724,5	0,03466
Gotejamento	20	91	2.753	92,1	2.422,6	299,8	1.648,4	4.370,9	0,03378
	20	91	2.753	92,1	2.422,6	299,8	1.648,4	4.370,9	0,03378

<sup>1</sup> Potência dos motores elétricos, <sup>2</sup> Índice de carregamento, <sup>3</sup> número de horas de funcionamento anual, <sup>4</sup> rendimento dos motores elétricos, <sup>5</sup> gastos com consumo de energia elétrica no horário fora de ponta, <sup>6</sup> gastos com consumo de energia elétrica no período noturno, <sup>7</sup> gastos com demanda de energia elétrica e <sup>8</sup> gastos específicos com energia hidráulica útil.

Os Quadros 22, 23 e 24, apresentam os valores dos gastos anuais com consumo e demanda de energia elétrica, utilizando os valores de manejo da irrigação simulados pelo SISDA, para os sistemas de irrigação do tipo pivô central e gotejamento, operando com os motores-padrão em uso na propriedade, operando com a substituição proposta por motores de alto rendimento adequados e, ou, utilizando a substituição proposta dos conjuntos motobombas.

Com base nos valores apresentados nos Quadros 22 e 23, para os gastos com energia elétrica para o manejo simulado nos sistemas de pivô central e gotejamento, utilizando motores do tipo padrão, em uso na propriedade, e motores de alto rendimento adequados, respectivamente, observa-se uma redução de R\$ 510,80 nos gastos com energia elétrica, para o

equipamento de pivô central, e de R\$ 607,40 para o equipamento de gotejamento, que, em valores percentuais, correspondem a 2,6 % para os dois sistemas de irrigação avaliados. Para os valores de GEEH, a redução observada foi de 2,3 %, para o equipamento de pivô central, e de 0,6; 2,8 e 2,1 % para os motores de 10, 30 e 30 cv, respectivamente, constituindo a melhor opção para substituição dos motores atuais utilizados na fazenda para o equipamento do tipo gotejamento.

Quadro 22 - Características dos motores-padrão em uso na propriedade, gastos com consumo e demanda de energia, com o manejo simulado pelo SISDA

Equipamento	Pot <sup>1</sup> (cv)	IC <sup>2</sup> (%)	hano <sup>-13</sup> 3.271	$\eta^4$ (%)	CON <sup>5</sup> (hfp) (R\$/ano)	CON <sup>6</sup> (not) (R\$/ano)	DEM <sup>7</sup> (R\$/ano)	Total (R\$/ano)	GEEH <sup>8</sup> (R\$/MJ)
Pivô central	175	93	3.271	92,1	8.037,3	3.474,8	7.733,3	19.245,5	0,01472
Gotejamento	10	77	5.247	88,2	1.802,2	331,4	728,7	2.862,4	0,06822
	40	65	5.247	89,5	5.995,7	1.102,7	2.424,3	9.522,8	0,03799
	40	70	5.247	89,5	6.433,2	1.183,2	2.601,2	10.274,7	0,04067

<sup>1</sup> Potência dos motores elétricos, <sup>2</sup> Índice de carregamento, <sup>3</sup> número de horas de funcionamento anual, <sup>4</sup> rendimento dos motores elétricos, <sup>5</sup> gastos com consumo de energia elétrica no horário fora de ponta, <sup>6</sup> gastos com consumo de energia elétrica no período noturno, <sup>7</sup> gastos com demanda de energia elétrica e <sup>8</sup> gastos específicos com energia hidráulica útil.

De acordo com os dados de gastos totais para consumo e demanda de energia elétrica, apresentados nos Quadros 22 e 23, pode-se dizer que a substituição dos motores atuais, em uso na propriedade, por motores de alto rendimento adequados pode gerar uma economia considerável, visto que, de acordo com a análise econômica realizada para adequação de força motriz, esta opção foi a que apresentou resultados mais satisfatórios.

O Quadro 24 apresenta os gastos com consumo e demanda de energia elétrica, para os sistemas de irrigação do tipo pivô central e gotejamento, considerando-se a substituição proposta dos conjuntos motobombas atuais por outros adequados às condições de projeto.

Quadro 23 - Características dos motores de alto rendimento adequados, gastos com consumo e demanda de energia, com o manejo simulado pelo SISDA

Equipamento	Pot <sup>1</sup> (cv)	IC <sup>2</sup> (%)	hano <sup>-13</sup>	$\eta^4$ (%)	CON <sup>5</sup> (hfp) (R\$/ano)	CON <sup>6</sup> (not) (R\$/ano)	DEM <sup>7</sup> (R\$/ano)	Total (R\$/ano)	GEEH <sup>8</sup> (R\$/MJ)
Pivô central	175	93	3.271	94,4	7.824,0	3.382,5	7.928,1	18.734,7	0,01438
	10	77	5.247	89,8	1.769,1	325,3	715,3	2.809,8	0,06778
Gotejamento	30	86	5.247	91,5	5.820,8	1.070,6	2.353,6	9.245,1	0,03690
	30	93	5.247	91,5	6.294,6	1.157,7	2.545,2	9.997,6	0,03980

<sup>1</sup> Potência dos motores elétricos, <sup>2</sup> Índice de carregamento, <sup>3</sup> número de horas de funcionamento anual, <sup>4</sup> rendimento dos motores elétricos, <sup>5</sup> gastos com consumo de energia elétrica no horário fora de ponta, <sup>6</sup> gastos com consumo de energia elétrica no período noturno, <sup>7</sup> gastos com demanda de energia elétrica e <sup>8</sup> gastos específicos com energia hidráulica útil.

Com base nos valores apresentados nos Quadros 22 e 24, e procedendo-se à análise comparativa entre os mesmos, a substituição proposta dos conjuntos motobombas atuais por outros mais adequados às condições de projeto, proporciona uma redução nos gastos com energia elétrica da ordem de R\$ 2.620,00, para o equipamento de pivô central, e de R\$ 8.630,00 para o equipamento de gotejamento, redução esta que, em valores percentuais, corresponde a 13,6 e 38,1 % nos gastos com energia elétrica para os equipamentos de pivô central e gotejamento, respectivamente. Quanto aos valores de GEEH, observa-se uma redução nos gastos de 10,5 %, para o motor utilizado no equipamento de pivô central, e de 61,5, 32 e 36,4 % para os motores de 3, 20 e 20 cv, respectivamente, indicados como melhor opção na substituição dos conjuntos motobombas. Aqui, ressalta-se a importância da realização de estudos sobre métodos de adequação dos conjuntos motobombas atuais por outros mais adequados às condições de projeto, em sistemas de irrigação por pivô central e gotejamento utilizados na cafeicultura, bem como a importância da otimização no número de horas anuais proporcionada pelo manejo, adotando -se o programa SISDA, que, além de

Quadro 24 - Características dos conjuntos motobomba adequados, gastos com consumo e demanda de energia elétrica, com o manejo simulado pelo SISDA

Equipamento	Pot <sup>1</sup> (cv)	IC <sup>2</sup> (%)	hano <sup>-13</sup>	$\eta^4$ (%)	CON <sup>5</sup> (hfp) (R\$/ano)	CON <sup>6</sup> (not) (R\$/ano)	DEM <sup>7</sup> (R\$/ano)	Total (R\$/ano)	GEEH <sup>8</sup> (R\$/MJ)
Pivô Central	150	95	3.271	94,1	6.566,0	2.838,6	6.317,6	16.625,5	0,01316
	3	93	5.247	85,2	675,7	124,2	273,2	1.073,3	0,02626
Gotejamento	20	91	5.247	92,1	4.076,7	749,8	1.648,4	6.475,0	0,02584
	20	91	5.247	92,1	4.076,7	749,8	1.648,4	6.475,0	0,02584

<sup>1</sup> Potência dos motores elétricos, <sup>2</sup> Índice de carregamento, <sup>3</sup> número de horas de funcionamento anual, <sup>4</sup> rendimento dos motores elétricos, <sup>5</sup> gastos com consumo de energia elétrica no horário fora de ponta, <sup>6</sup> gastos com consumo de energia elétrica no período noturno, <sup>7</sup> gastos com demanda de energia elétrica e <sup>8</sup> gastos específicos com energia hidráulica útil.

atender às necessidades hídricas da cultura, proporciona menores gastos específicos com energia hidráulica útil, em virtude de um melhor aproveitamento do equipamento durante o ano.

#### 4.6. Avaliação dos custos envolvidos na cafeicultura irrigada por pivô central e gotejamento

A partir da necessidade de irrigação do cafeeiro e da capacidade dos equipamentos, foram calculadas as quantidades totais de água necessária para suprimento das necessidades hídricas da cultura do café, via módulo manejo de irrigação do modelo SISDA, o qual foi comparado com o manejo real praticado na propriedade, para o ano agrícola de 2001. Lembrando que, para o equipamento de irrigação do tipo gotejamento, não foi possível atender plenamente às necessidades hídricas da cultura, através da simulação, devido, às limitações impostas pelo equipamento.

Determinaram-se os custos totais para a irrigação e os diversos fatores envolvidos, para os equipamentos do tipo pivô central e gotejamento, avaliados para as duas situações de manejo de irrigação. Esses custos foram

relacionados para as seguintes condições: (a) utilizando motores do tipo padrão, em uso na propriedade; (b) utilizando a substituição proposta dos motores atuais, em uso, por motores de alto rendimento adequados, como sendo a melhor opção de adequação de força motriz; e (c) utilizando sistemas de bombeamento adequados, segundo indicação do programa AGRIBOMBAS (2000).

Para o manejo real, adotou-se uma faixa de produtividade que foi alcançada nos últimos três anos, assim como uma produtividade média obtida nos últimos sete anos, sendo determinada uma faixa de 18 a 30 sc ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para o manejo simulado, que possibilitou um teor de umidade no solo próximo à capacidade de campo, e que resultou em uma taxa de crescimento elevada para a cultura, podendo, com isso, obter elevadas produtividades, adotou-se uma faixa de produtividade de 30 a 50 sc ha<sup>-1</sup>. Com a adoção do manejo simulado pelo SISDA e tratos culturais adequados, estes valores de produtividade são, tecnicamente, possíveis de serem alcançados. Além disso, estes índices de produtividade vêm sendo observados em cafeeiros irrigados, para os quais tem sido empregado um bom manejo de água de irrigação, em combinação com tratos culturais tecnicamente recomendados. Os resultados são apresentados nos Quadros 25 a 27.

Para o equipamento de gotejamento avaliado, segundo o número de horas real adotado na propriedade (para uma faixa de produtividade de 18 a 30 sc ha<sup>-1</sup>), os custos totais médios com a irrigação (R\$ ha<sup>-1</sup>) foram de R\$ 1.084,60, quando avaliados para os motores-padrão em uso, de R\$ 1.077,60 quando realizada a substituição proposta por motores de alto rendimento adequados, e de R\$ 975,50 para a substituição proposta dos conjuntos motobombas. Para o manejo simulado (com uma faixa de produtividade de 30 a 50 sc ha<sup>-1</sup>), os custos totais médios encontrados foram de R\$ 1.223,50, utilizando os motores atuais do tipo padrão, de R\$ 1.212,00 para substituição proposta por motores de alto rendimento adequados e de



Quadro 25 – Custo total médio de irrigação (R\$ ha<sup>-1</sup> ano e R\$ sc<sup>-1</sup>ano) e participação dos diversos itens (R\$ ha<sup>-1</sup>) para produtividades de 18 a 30 sc ha<sup>-1</sup>, utilizando o manejo da irrigação real adotado na propriedade, para os equipamentos avaliados, e de 30 a 50 sc ha<sup>-1</sup>, produtividade estimada com o uso dos valores simulados pelo SISDA, para os sistemas de irrigação por pivô central e gotejamento, utilizando motores-padrão

Item	Sistemas de Irrigação							
	Gotejamento				Pivô Central			
	Manejo real		Manejo SISDA		Manejo real		Manejo SISDA	
	Produtividades(sc/ha)		Produtividades(sc/ha)		Produtividades(sc/ha)		Produtividades(sc/ha)	
	18	30	30	50	18	30	30	50
Irrigação total aplicada (mm)	244,7	244,7	516,0	516,0	428,9	428,9	998,5	998,5
Custos (R\$ ha <sup>-1</sup> ano) :								
Mão-de-obra	87,1	87,1	87,1	87,1	62,1	62,1	62,1	62,1
Energia elétrica:								
Consumo	179,3	179,3	317,8	317,8	135,3	135,3	252,4	252,4
Demanda	108,5	108,5	108,5	108,5	169,5	169,5	169,5	169,5
Manutenção e reparo	120,0	120,0	120,0	120,0	150,0	150,0	150,0	150,0
Depreciação	589,7	589,7	589,7	589,7	356,2	356,2	356,2	356,2
Total (R\$ ha <sup>-1</sup> ano)	1.084,6	1.084,6	1.223,5	1.223,5	873,1	873,1	990,2	990,2
Total (R\$ sc <sup>-1</sup> ano)	60,2	36,1	40,7	24,4	48,5	29,1	33,0	19,8
Total (R\$ mm <sup>-1</sup> )	4,4	4,4	2,3	2,3	2,0	2,0	0,9	0,9

Quadro 26 – Custo total médio de irrigação (R\$ ha<sup>-1</sup> ano e R\$ sc<sup>-1</sup>ano) e participação dos diversos itens (R\$ ha<sup>-1</sup>) para produtividades de 18 a 30 sc ha<sup>-1</sup>, utilizando o manejo da irrigação real adotado na propriedade, para os equipamentos avaliados, e de 30 a 50 sc ha<sup>-1</sup>, produtividade estimada com o uso dos valores simulados pelo SISDA, para os sistemas de irrigação por pivô central e gotejamento, utilizando motores de alto rendimento adequados à condição de carga, sendo a melhor opção de adequação de força motriz

Item	Sistemas de Irrigação							
	Gotejamento				Pivô Central			
	Manejo real		Manejo SISDA		Manejo real		Manejo SISDA	
	Produtividades(sc/ha)		Produtividades(sc/ha)		Produtividades(sc/ha)		Produtividades(sc/ha)	
	18	30	30	50	18	30	30	50
Irrigação total aplicada (mm)	244,7	244,3	516,0	516,0	428,9	428,9	998,5	998,5
Custos (R\$ ha <sup>-1</sup> ano) :								
Mão-de-obra	87,1	87,1	87,1	87,1	62,1	62,1	62,1	62,1
Energia elétrica:								
Consumo	174,9	174,9	310,1	310,1	131,7	131,7	245,7	245,7
Demanda	105,9	105,9	105,9	105,9	165,0	165,0	165,0	165,0
Manutenção e reparo	120,0	120,0	120,0	120,0	150,0	150,0	150,0	150,0
Depreciação	589,7	589,7	589,7	589,7	356,2	356,2	356,2	356,2
Total (R\$ ha <sup>-1</sup> ano)	1.077,6	1.077,6	1.213,0	1.213,0	865,0	865,0	979,0	979,0
Total (R\$ sc <sup>-1</sup> ano)	59,8	35,9	40,4	24,2	48,0	28,8	32,6	19,5
Total (R\$ mm <sup>-1</sup> )	4,4	4,4	2,3	2,3	2,0	2,0	0,9	0,9

Quadro 27 – Custo total médio de irrigação (R\$ ha<sup>-1</sup> ano e R\$ sc<sup>-1</sup>ano) e participação dos diversos itens (R\$ ha<sup>-1</sup>) para produtividades de 18 a 30 sc ha<sup>-1</sup>, utilizando o manejo da irrigação real adotado na propriedade, para os equipamentos avaliados, e de 30 a 50 sc ha<sup>-1</sup>, produtividade estimada com o uso dos valores simulados pelo SISDA, para os sistemas de irrigação do tipo pivô central e gotejamento, utilizando conjuntos motobomba indicados como a melhor opção pelo AGRIBOMBAS (2000), como sendo melhor opção de adequação de conjunto de bombeamento

Item	Sistemas de Irrigação							
	Gotejamento				Pivô Central			
	Manejo real		Manejo SISDA		Manejo real		Manejo SISDA	
	Produtividades(sc/ha)		Produtividades(sc/ha)		Produtividades(sc/ha)		Produtividades(sc/ha)	
	18	30	30	50	18	30	30	50
Irrigação total aplicada (mm)	244,7	244,7	516,0	516,0	428,9	428,9	998,5	998,5
Custos (R\$ ha <sup>-1</sup> ano) :								
Mão-de-obra	87,1	87,1	87,1	87,1	62,1	62,1	62,1	62,1
Energia elétrica:								
Consumo	111,2	111,2	197,2	197,2	116,9	116,9	218,0	218,0
Demanda	63,7	63,7	67,3	67,3	146,5	146,5	146,5	146,5
Manutenção e reparo	120,0	120,0	120,0	120,0	150,0	150,0	150,0	150,0
Depreciação	589,7	589,7	589,7	589,7	356,2	356,2	356,2	356,2
Total (R\$ ha <sup>-1</sup> ano)	975,5	975,5	1.061,5	1.061,5	831,7	831,7	932,8	932,8
Total (R\$ sc <sup>-1</sup> ano)	54,1	32,5	35,3	21,2	46,2	27,7	31,0	18,6
Total (R\$ mm <sup>-1</sup> )	3,9	3,9	2,0	2,0	1,9	1,9	0,9	0,9

R\$ 1.061,50, para substituição proposta por conjuntos motobombas adequados, mostrando, assim, uma redução expressiva nos custos obtida com a substituição dos motores. Observa-se que, para o equipamento de gotejamento, as substituições propostas influenciam diretamente os valores de consumo de energia elétrica. Tanto para o manejo adotado na propriedade (real), quanto para os valores simulados (SISDA), determinou-se, uma redução nos custos, quando utilizados os motores-padrão em uso, em relação às duas substituições propostas, ou seja, 2,4 e 37,9 % utilizando os motores de alto rendimento adequados e realizando-se a substituição dos conjuntos motobombas adequados, respectivamente.

Uma importância maior deve ser dada aos custos relacionados ao consumo de energia para o gotejamento, visto que, para o presente estudo, determinou-se que, para o manejo real da irrigação, os custos com consumo e demanda de energia elétrica representaram cerca de 27, 26 e 18 % dos custos totais, utilizando os motores atuais, adotando a substituição por motores de alto rendimento adequados e, ou, realizando a substituição proposta dos sistemas de bombeamento, respectivamente. Para o manejo simulado com o SISDA, os custos com consumo e demanda de energia elétrica representaram cerca de 35; 34 e 25 % dos custos totais com a irrigação, utilizando os motores-padrão, procedendo-se à troca por motores de alto rendimento adequados e, ou se realizando a troca dos sistemas de bombeamento, respectivamente. Portanto, é evidente a importância da determinação de cada um dos itens nos custos totais da irrigação, e da determinação de alternativas viáveis que reduzam esses custos, gerando, conseqüentemente, uma maior economia dos recursos empregados na irrigação da cafeicultura e possibilitando, aumentar a margem de lucro do produtor.

Analisando os mesmos quadros, com relação ao manejo real, observa-se um aumento na lâmina de irrigação total, se comparado ao manejo proposto pelo SISDA, sendo da ordem de 110 % para o equipamento de gotejamento avaliado. Este aumento nos custos representaria cerca de 12,8; 12,5 e 8,8 % para o sistema operando com motores-padrão em uso na fazenda, se realizada a substituição proposta por motores de alto rendimento adequados, e se adotada a substituição dos conjuntos motobombas adequados às condições de projeto, respectivamente, indicando, assim, que a adequação tanto de motores quanto dos conjuntos motobombas tornou-se viável, gerando interesse por

parte dos usuários de equipamentos de irrigação, tanto na cafeicultura quanto nos diferentes setores que utilizam esta técnica.

Avaliados os gastos anuais com a irrigação por saca de café beneficiado, para o equipamento de gotejamento, observa-se que, para o manejo real adotado, ou seja, com produtividades médias variando de 18 a 30 sc ha<sup>-1</sup>, os gastos variam de R\$ 36,10 a R\$ 60,20, quando se utilizam os motores atuais, de R\$ 35,90 a R\$ 59,80, quando utilizados os motores de alto rendimento adequados, e de R\$ 32,50 a R\$ 54,10 quando utilizados os conjuntos motobombas adequados às condições de projeto, o que demonstra, a viabilidade de adequação de força motriz e da adequação de sistemas de bombeamentos propostas. No manejo simulado, para o qual foi proposto alcançar produtividade média variando de 30 a 50 sc ha<sup>-1</sup>, os gastos anuais por saca de café variaram de R\$ 24,40 a R\$ 40,70, quando se utilizaram os motores atuais, de R\$ 24,20 a R\$ 40,40 ao utilizar os motores de alto rendimento adequados, e de R\$ 21,20 a R\$ 35,30 quando utilizados os conjuntos motobombas adequados às condições de projeto, o que demonstra tanto as vantagens de se adotar um bom programa de manejo da água de irrigação e, quanto a viabilidade de adequação de força motriz e da adequação dos sistemas de bombeamento propostos.

Para o equipamento de pivô central avaliado, segundo o número de horas do manejo real adotado na propriedade, os custos totais médios com a irrigação (R\$ ha<sup>-1</sup>) foram de R\$ 873,10, quando avaliado para o equipamento utilizando os motores-padrão em uso, de R\$ 865,00 ao realizar as substituições propostas por motores de alto rendimento adequados, e de R\$ 831,70 ao adotar as substituições propostas dos conjuntos motobombas, o que demonstra uma elevada redução nos custos totais com a irrigação. Para o manejo simulado, o custo total determinado foi de R\$ 990,20, utilizando os motores-padrão atuais, de R\$ 979,00 ao adotar as substituições propostas por motores de alto rendimento adequados, e de R\$ 932,80 ao adotar as substituições propostas por conjuntos motobombas adequados.

Ao adotar as substituições propostas tanto para o manejo utilizado na propriedade (real), quanto para os valores simulados pelo SISDA, ocorreu uma redução de 2,6 e 13,6 % nos custos totais (R\$ ha<sup>-1</sup>), quando realizada a substituição por motores de alto rendimento adequados, bem como a substituição dos conjuntos motobomba, respectivamente.

Uma importância maior deve ser dada aos custos relacionados ao consumo de energia, no caso do pivô central. Isto por que no presente estudo determinou-se que, para o manejo real da irrigação, os custos com o fator energia elétrica representaram cerca de 35; 34 e 32 % dos custos totais, utilizando os motores-padrão, se adotada a substituição por motores de alto rendimento adequados, e, ou realizada a substituição do sistema de bombeamento, respectivamente. Para o manejo simulado com o SISDA, os custos com o fator energia elétrica representou cerca de 43, 42 e 39 % dos custos totais, utilizando os motores atuais, se adotar a substituição proposta por motores de alto rendimento adequados e, ou, realizada a substituição do sistema de bombeamento, respectivamente. Ressalta-se, assim, a importância na determinação de cada um dos itens nos custos totais com irrigação, bem como a determinação de alternativas viáveis que reduzam esses custos, gerando, com isso, uma maior economia dos recursos empregados na cafeicultura, conseqüentemente, possibilitando aumentar a margem de lucro do produtor.

Analisando ainda os valores contidos nos Quadros 25, 26 e 27, observa-se um aumento na lâmina de irrigação da ordem de 132 %, ao adotar o manejo proposto pelo SISDA, para o equipamento de pivô central. Este aumento da lâmina aplicada, em relação aos custos, para o mesmo equipamento, foi de 13,9; 13,6 e 12,6 % para o sistema operando com motores-padrão, em uso na propriedade, quando realizada a substituição por motores de alto rendimento adequados, e se optar por substituir por conjuntos motobombas adequados às condições de projeto, respectivamente.

Quando avaliados os gastos anuais com a irrigação, por saca de café beneficiado, para o equipamento de pivô central, observa-se que para o manejo real adotado, ou seja, com produtividades médias variando de 18 a 30 sc ha<sup>-1</sup>, os gastos variam de R\$ 29,10 a R\$ 48,50 por saca, quando utilizado o motor atual, e de R\$ 28,80 a R\$ 48,00 por saca, quando utilizado o motor de alto rendimento adequado, e de R\$ 27,70 a R\$ 46,20 por saca, quando utilizado o conjunto motobomba adequado às condições de projeto. Tal fato demonstra a viabilidade tanto de adequação de força motriz quanto a adequação do sistema de bombeamento proposta. Para o manejo simulado, em que se propõe a possibilidade de atingir uma produtividade média variando de 30 a 50 sc ha<sup>-1</sup>, os gastos anuais por saca variaram de R\$ 19,80 a

R\$ 33,00, ao utilizar o motor atual, de R\$ 19,50 a R\$ 32,60 por saca, ao utilizar motor de alto rendimento adequado, e de R\$ 18,60 a R\$ 31,00 por saca quando se utilizou o conjunto motobomba adequado às condições de projeto. Evidencia-se, assim, as vantagens de se adotar um bom programa de manejo da água de irrigação, e, também, a viabilidade tanto de adequação de força motriz, quanto de adequação de sistema de bombeamento.

Os valores de custos totais para o pivô central, obtidos em todas as análises de adequação de força motriz e do sistema de bombeamento, efetuados (Quadros 25, 26 e 27), são sempre inferiores, quando, comparados aos custos determinados para o equipamento de gotejamento, o que é devido ao fato que, para o pivô central, no presente estudo, os valores gastos com mão-de-obra e depreciação serem menores.

Observa-se que, para os dois sistemas de irrigação avaliados (pivô central e gotejamento), os valores de custos totais médios obtidos apresentam tendência de queda com a substituição dos motores atuais por motores de alto rendimento adequado, ou se realizada a substituição proposta dos conjuntos motobombas atuais por outros adequados às condições de projeto. Tal comportamento é devido à redução nos gastos com energia elétrica, proporcionada, principalmente, pela redução na potência e aumento no rendimento dos motores indicados para substituir os motores atuais, bem como à melhor adequação dos conjuntos motobombas, determinados via software AGRIBOMBAS (2000). Assim, evidencia-se a viabilidade tanto de adequação de força motriz quanto da adequação do sistema de bombeamento como um todo.

#### **4.7. Análise dos índices econômico-financeiros**

Os índices econômico-financeiros, considerados neste trabalho, foram determinados para o café irrigado por pivô central e gotejamento, para o ano agrícola de 2001, sendo determinados também em relação ao manejo real praticado na propriedade, comparado com os valores recomendados pelo SISDA. Os níveis de produtividade adotados para o manejo real foram os valores compreendidos entre 18 a 30 sc ha<sup>-1</sup>, segundo a produtividade média alcançada nos últimos dois anos e o valor médio encontrado nos últimos sete

anos, respectivamente. Para os possíveis valores de produtividade, que se espera alcançar com a adoção do manejo recomendado pelo SISDA, adotou-se uma faixa de 30 a 50 sc ha<sup>-1</sup>, ou seja, um aumento de 66 % na produtividade média, obtido em virtude de melhores condições de umidade no solo, conseqüentemente proporcionando condições mais favoráveis ao desenvolvimento e produtividade do cafeeiro.

Os índices avaliados foram: Renda Bruta Total (RBT), Renda Líquida Total (RLT), Índice de Lucratividade (IL), Margem Bruta do (CT) e Ponto de Nivelamento do (CT). Estes índices foram avaliados para os sistemas operando com motores-padrão, em uso, quando realizada a substituição proposta por motores de alto rendimento adequados à condição de carga, e, ou realizada a substituição por conjuntos motobombas adequados à condição de projeto.

Os resultados dos índices econômico-financeiros, determinados para os equipamentos de irrigação do tipo pivô central e gotejamento utilizando os motores-padrão, são apresentados no Quadro 28.

Quadro 28 – Estimativa dos índices econômico-financeiros para os sistemas de irrigação por pivô central e gotejamento, para diferentes produtividades, 18 a 30 sc ha<sup>-1</sup> para o manejo real e de 30 a 50 sc ha<sup>-1</sup> para o manejo simulado, utilizando motores do tipo padrão, ano de 2001

Item	Sistemas de Irrigação							
	Gotejamento				Pivô central			
	Manejo real		Manejo SISDA		Manejo real		Manejo SISDA	
	Produtividades(sc/ha)		Produtividades(sc/ha)		Produtividades(sc/ha)		Produtividades(sc/ha)	
	18	30	30	50	18	30	30	50
RBT <sup>1</sup> (R\$ ha <sup>-1</sup> )	2.160,0	3.600,0	3.600,0	6.000,0	2.160,0	3.600,0	3.600,0	6.000,0
RLT <sup>2</sup> (R\$ ha <sup>-1</sup> )	1.075,1	2.459,2	2.376,5	4.776,5	1.286,7	2.726,7	2.609,5	5.009,5
IL <sup>3</sup>	49,8	68,3	66,0	79,6	59,6	75,7	72,5	83,5
MB(CT) <sup>4</sup> (%)	99,1	231,8	194,2	390,4	147,3	312,2	263,5	505,8
PN(CT) <sup>5</sup> (sc ha <sup>-1</sup> )	9,0	9,0	10,2	10,2	7,2	7,2	8,2	8,2

<sup>1</sup> Renda bruta total, <sup>2</sup> Renda líquida total, <sup>3</sup> Índice de lucratividade, <sup>4</sup> Margem Bruta do Custo Total, <sup>5</sup> Ponto de nivelamento do Custo Total.



Com base nos valores apresentados no Quadro 28 para RBT, com uma produtividade de 18 a 30 sc ha<sup>-1</sup>, alcançado com o manejo real da irrigação para o equipamento de gotejamento, o produtor obtém uma renda total com a comercialização anual do produto de R\$ 2.160,00 a R\$ 3.000,00. Esta produtividade, segundo classificação proposta por MANTOVANI (2002), é considerada baixa, fazendo com que 37,5 % da RBT obtida para uma produtividade média de 24 sc ha<sup>-1</sup> sejam destinados a cobrir os custos com irrigação.

Ao adotar o manejo da irrigação com valores simulados com o SISDA, espera-se alcançar produtividades médias anuais variando de 30 a 50 sc ha<sup>-1</sup>, o que possibilitará ao produtor obter uma renda total com a comercialização do produto de R\$ 3.000,00 a R\$ 6.000,00 por ano. Esta produtividade, segundo classificação proposta por MANTOVANI (2002), é considerada de média a alta, fazendo com que, 22,5 % da RBT obtida para uma produtividade média de 40 sc ha<sup>-1</sup> sejam destinados a cobrir os custos com a irrigação, portanto, com a utilização do SISDA. Devido à possibilidade de alcançar maiores produtividades, proporciona ao produtor uma maior rentabilidade e maior remuneração com a atividade.

Para o equipamento de pivô central, observa-se que, com uma produtividade de 18 a 30 sc ha<sup>-1</sup>, alcançada com o manejo real da irrigação, o produtor está obtendo uma renda total de R\$ 2.160,00 a R\$ 3.000,00 por ano, com a comercialização do produto. Esta produtividade, segundo classificação proposta por MANTOVANI (2002), é considerada baixa, fazendo com que 30 % da RBT obtida para uma produtividade média de 24 sc ha<sup>-1</sup> seja destinado a cobrir os custos com a utilização da irrigação, sendo, portanto, elevado o dispêndio de recursos para cobrir os custos com a irrigação. Quando adotado o manejo da irrigação com valores simulados com o SISDA, espera-se alcançar produtividades médias variando de 30 a 50 sc ha<sup>-1</sup>, ou seja, uma média de 40 sc ha<sup>-1</sup>. Assim, o produtor poderá obter uma renda total de R\$ 3.000,00 a R\$ 6.000,00 por ano, com a comercialização do produto. Esta produtividade, segundo classificação proposta por MANTOVANI (2002), é considerada de média a alta, fazendo com que, os dispêndios de recursos com a irrigação correspondam em média, a 18 % da RBT obtida para uma produtividade média de 40 sc ha<sup>-1</sup>, destinados a cobrir os custos com a utilização da irrigação.

Os outros índices avaliados correspondem aos valores de RLT, IL e MB, podendo, com a utilização do manejo com o SISDA, obter um aumento médio de 102,0, 69,3 e 76,7 % para os valores de RLT, IL e MB, respectivamente, em relação ao manejo real para o equipamento de gotejamento. Para o equipamento de pivô central, pôde-se obter, com a adoção do manejo simulado, em relação ao manejo real, um aumento de até 89,8, 15,3 e 67,4 % para os valores de RLT, IL e MB, respectivamente, mostrando, com isso, os reais benefícios da adoção de um manejo racional do uso da água na cafeicultura irrigada.

Os valores dos índices econômicos avaliados para os equipamentos de irrigação por pivô central e gotejamento, utilizando motores do tipo alto rendimento adequados às condições de carga como sendo a opção que obteve melhores índices econômicos analisadas anteriormente, para as produtividades alcançadas com o manejo real como sendo de 18 a 30 sc ha<sup>-1</sup>, e produtividades de 30 a 50 sc ha<sup>-1</sup>, possíveis de serem alcançadas com o uso do manejo simulado, estão apresentados no Quadro 29.

Quadro 29 – Estimativa dos índices econômico financeiros para os sistemas de irrigação do tipo pivô central e gotejamento, para diferentes produtividades, 18 a 30 sc ha<sup>-1</sup> para o manejo real e de 30 a 50 sc ha<sup>-1</sup> para o manejo simulado, utilizando motores de alto rendimento adequados, ano de 2001

Item	Sistemas de Irrigação							
	Gotejamento				Pivô Central			
	Manejo real		Manejo SISDA		Manejo real		Manejo SISDA	
	Produtividades(sc/ha)		Produtividades(sc/ha)		Produtividades(sc/ha)		Produtividades(sc/ha)	
	18	30	30	50	18	30	30	50
RBT <sup>1</sup> (R\$ ha <sup>-1</sup> )	2.160,0	3.600,0	3.600,0	6.000,0	2.160,0	3.600,0	3.600,0	6.000,0
RLT <sup>2</sup> (R\$ ha <sup>-1</sup> )	1.082,1	2.522,1	2.386,9	4.786,9	1.294,7	2.734,7	2.620,7	5.020,7
IL <sup>3</sup>	50,1	70,1	66,3	79,8	59,9	76,0	72,8	83,7
MB(CT) <sup>4</sup> (%)	100,4	234,0	196,8	394,6	149,7	316,1	267,6	512,7
PN(CT) <sup>5</sup> (sc ha <sup>-1</sup> )	8,9	8,9	10,1	10,1	7,1	7,1	8,1	8,1

<sup>1</sup> Renda bruta total, <sup>2</sup> Renda líquida total, <sup>3</sup> Índice de lucratividade, <sup>4</sup> Margem Bruta do Custo Total, <sup>5</sup> Ponto de nivelamento do Custo Total.

Realizando uma análise comparativa entre os valores apresentados nos Quadros 28 e 29, para os equipamentos de irrigação do tipo pivô central e gotejamento, operando com motores-padrão, adotando a substituição proposta por motores de alto rendimento adequados, respectivamente, obtém-se uma redução nos valores de ponto de nivelamento (PN) de 1 % para os dois equipamentos avaliados. Esta redução é importante pelo simples fato de uma menor quantia obtida com a venda do produto ser destinada a cobrir os gastos com a irrigação, restando, assim, um capital maior para cobrir outros custos e ainda remunerar o empresário. Portanto, a substituição proposta dos motores atuais por motores de alto rendimento adequados torna-se viável e atrativa para o empresário agrícola.

Quanto aos outros índices avaliados para o equipamento de gotejamento utilizando o manejo real, observa-se que, para os valores de RLT, IL e MB, a substituição proposta dos motores propicia um aumento de 2,0, 1,7 e 1,0 % nos índices, respectivamente, enquanto para o manejo utilizando valores simulados, o aumento foi de 0,2, 0,2 e 1,1 % para os valores de RLT, IL e MB, respectivamente. Quando avaliados os mesmos índices para o equipamento de pivô central, o aumento nos valores dos índices, proporcionado pela substituição dos motores, é de 0,4, 0,4 e 1,3 % para RLT, IL e MB, respectivamente, avaliados para o manejo real. Para o manejo adotando valores simulados, o aumento é de 0,3; 0,3 e 1,3 % para RLT, IL e MB, respectivamente, demonstrando que tanto para o equipamento de gotejamento quanto para o pivô central, avaliados para o manejo real da irrigação e para os valores simulados pelo SISDA, a substituição dos motores-padrão atuais por motores de alto rendimento adequados à condição de carga torna-se viável, sob os pontos de vista técnico-econômico e econômico-financeiro, sendo, portanto, uma opção para o produtor reduzir os custos com a irrigação e possibilitando gerar uma economia considerável dos recursos empregados.

O Quadro 30 apresenta os índices econômico-financeiros avaliados para os equipamentos de irrigação por pivô central e gotejamento, utilizando conjuntos motobombas adequados às condições de projeto como sendo a melhor opção para adequação do conjunto de bombeamento, indicada pelo software AGRIBOMBAS (2000), para as produtividades alcançadas com o manejo real como sendo de 18 a 30 sc ha<sup>-1</sup> e de 30 a 50 sc ha<sup>-1</sup> produtividades

essas possíveis de serem alcançadas com o uso do manejo utilizando o SISDA.

Quadro 30 – Estimativa dos índices econômico-financeiros para os sistemas de irrigação tipo pivô central e gotejamento, para diferentes produtividades, 18 a 30 sc ha<sup>-1</sup> para o manejo real, e de 30 a 50 sc ha<sup>-1</sup> para o manejo simulado, utilizando conjuntos motobomba adequados, ano de 2001

Ítem	Sistemas de Irrigação							
	Gotejamento				Pivô central			
	Manejo real		Manejo SISDA		Manejo real		Manejo SISDA	
	Produtividades(sc/ha)		Produtividades(sc/ha)		Produtividades(sc/ha)		Produtividades(sc/ha)	
	18	30	30	50	18	30	30	50
RBT <sup>1</sup> (R\$ ha <sup>-1</sup> )	2.160,0	3.600,0	3.600,0	6.000,0	2.160,0	3.600,0	3.600,0	6.000,0
RLT <sup>2</sup> (R\$ ha <sup>-1</sup> )	1.184,4	2.624,4	2.538,4	4.938,4	1.328,2	2.768,1	2.667,0	5.067,0
IL <sup>3</sup>	54,8	72,9	70,5	82,3	61,5	76,9	74,1	84,5
MB(CT) <sup>4</sup> (%)	121,4	269,0	239,1	465,2	159,7	332,7	285,9	543,1
PN(CT) <sup>5</sup> (sc ha <sup>-1</sup> )	8,1	8,1	8,8	8,8	6,9	6,9	7,7	7,7

<sup>1</sup> Renda bruta total, <sup>2</sup> Renda líquida total, <sup>3</sup> Índice de lucratividade, <sup>4</sup> Margem Bruta do Custo Total, <sup>5</sup> Ponto de nivelamento do Custo Total.

Realizando uma análise comparativa entre os valores apresentados nos Quadros 28 e 30, para o equipamento do tipo gotejamento, obtém-se uma redução nos valores de ponto de nivelamento (PN) de 10 e 13 %, quando avaliados para o manejo real e simulado, respectivamente, enquanto, para o equipamento do tipo pivô central, obtém-se uma redução nos valores de ponto de nivelamento (PN) de 4,1 e 6,0 %, quando avaliados para o manejo real e simulado, respectivamente. Esta redução obtida nos valores de PN, para os dois equipamentos avaliados, torna-se importante pelo simples fato de uma menor parcela do total da receita obtida com a venda do produto ser destinada a cobrir os gastos com a irrigação, disponibilizando, assim uma maior quantidade de capital para cobrir os outros custos com a cultura, além de

remunerar o empresário. Portanto, a substituição proposta é viável e atrativa para o empresário agrícola.

Relativamente aos outros índices avaliados para o equipamento de gotejamento utilizando o manejo real, observa-se que, para os valores de RLT, IL e MB, a substituição proposta dos conjuntos motobombas propiciou um aumento de 7,7, 8,0 e 18 %, respectivamente, enquanto para o manejo utilizando valores simulados, o aumento foi de 4,5, 4,9 e 20,4 % para os valores de RLT, IL e MB, respectivamente. Quando avaliados os mesmos índices para o equipamento de pivô central, o aumento nos valores dos índices, proporcionado pela substituição dos conjuntos motobomba, é de 2,0, 2,3 e 7,1 % para RLT, IL e MB, respectivamente, avaliados para o manejo real, e um aumento de 1,5, 1,6 e 8,0 % para RLT, IL e MB, respectivamente, para o manejo adotando valores simulados com o SISDA. Tal fato mostra que, tanto para o equipamento de gotejamento quanto para o pivô central, avaliados para o manejo real da irrigação e para os valores simulados pelo SISDA, a substituição dos conjuntos motobombas atuais por conjuntos motobombas adequados torna-se viável, sob os pontos de vista técnico-econômico e econômico-financeiro. Portanto, é uma opção atrativa para que o produtor possa reduzir os custos com a irrigação, obtendo, assim, uma economia considerável de recursos.

Em relação à adoção do programa SISDA, para os dois sistemas de irrigação avaliados, os custos tornaram-se maiores, devido principalmente ao número de horas de operação anual ser muito maior, quando comparado ao número de horas requerido para o manejo real, ou seja, o manejo adotado na fazenda. Considerando a sua confiabilidade na representatividade das relações solo-água-planta-atmosfera, assim como os resultados obtidos em outros estudos, pode-se dizer que a utilização do programa SISDA para manejo da água de irrigação pode elevar a produtividade, o que resultará em maior lucratividade no empreendimento para o produtor, compensando, assim, a maior lâmina recomendada pelo manejo da irrigação simulado pelo SISDA.

#### 4.8. Análise socioeconômica

As análises socioeconômicas das substituições propostas neste trabalho foram feitas com o manejo real e com valores simulados pelo modelo SISDA, adotados nos equipamentos do tipo pivô central e gotejamento, para os motores do tipo padrão, em relação aos motores de alto rendimento adequados à condição de carga, e para substituição dos conjuntos motobombas atuais por conjuntos motobombas adequados às condições de projeto.

Em virtude da realidade atual do País no setor energético e hidrológico, e como forma de amenizar este quadro desfavorável que se apresenta, medidas foram tomadas pelo Governo com o propósito de gerar uma maior economia dos recursos existentes, isentando de ICMS todos os consumidores que se enquadram na faixa de consumo mensal situada entre 31 e 90 kWh (taxa renda Brasil). Assim, foi possível determinar a rentabilidade unitária do recurso energia elétrica e a vantagem social da mesma.

Para o sistema de gotejamento, quando comparados os gastos com energia elétrica para o manejo real da irrigação utilizando motores-padrão atuais (Quadro 19) com o motor de alto rendimento adequado à condição de carga (Quadro 20) e quando comparada com a substituição dos conjuntos motobombas (Quadro 21) proposta, a  $RU_{EE}$  foi de R\$ 371,54 e R\$ 5.791,62, respectivamente, por ano, ou seja, uma  $ES_{EE}$  suficiente para atender às necessidades de, aproximadamente, 3,7 e 57,6 famílias durante o ano, para as duas substituições propostas. Quando o manejo foi realizado via SISDA com motores atuais padrão (Quadro 22), comparados com motores de alto rendimento adequados à condição de carga (Quadro 23) e com a substituição dos conjuntos motobombas (Quadro 24) propostos, a  $RU_{EE}$  foi de R\$ 550,39 e R\$ 8.579,6 por ano, respectivamente, ou seja, uma  $ES_{EE}$  suficiente para atender às necessidades de, aproximadamente, 5,5 e 85,3 famílias por ano, para as duas substituições propostas, respectivamente.

Para o sistema de pivô central, quando comparado para o manejo real da irrigação utilizando motor-padrão atual (Quadro 19) com motores de alto rendimento adequados à condição de carga (Quadro 20), e se realizada a substituição do conjunto motobomba (Quadro 21) proposta, a  $RU_{EE}$  foi de R\$ 369,04 e R\$ 1.888,04, respectivamente, por ano, ou seja, uma  $ES_{EE}$  suficiente para atender às necessidades de, aproximadamente, 3,6 e 18,7 famílias

durante o ano, para as duas substituições propostas. Quando adotado o manejo via SISDA com motor-padrão atual (Quadro 20), comparado com motores de alto rendimento adequados à condição de carga (Quadro 21) e com a substituição do conjunto motobomba (Quadro 22) proposta, a  $RU_{EE}$  foi de R\$ 510,80 e R\$ 2.620,09 por ano, respectivamente, ou seja, uma  $ES_{EE}$  suficiente para atender às necessidades de, aproximadamente, 5,0 e 26,0 famílias por ano, para as duas substituições propostas, respectivamente.

Considerando a atual situação do Brasil quanto ao fornecimento de energia elétrica para os diferentes consumidores, com crescente ameaça de racionamento de energia elétrica, uma forma de reduzir esta ameaça seria a adequação de força motiz, substituindo-se os motores atuais do tipo padrão por motores de alto rendimento adequados, como sendo a melhor opção de substituição obtida na análise de adequação de força motriz. Uma outra alternativa seria a substituição dos conjuntos motobombas atuais por outros mais adequados ao projeto, que poderiam contribuir, expressivamente, para a racionalização de energia elétrica.

A utilização do SISDA, em todas as análises realizadas, proporcionou um número de horas de funcionamento, para os sistemas de irrigação do tipo pivô central e gotejamento, bem superior comparativamente ao manejo real adotado pelo produtor rural, resultando em maiores gastos com energia elétrica. Entretanto, por incorporar melhor as relações solo-água-planta-atmosfera, o programa poderia atender melhor à demanda hídrica da cultura, constituindo uma ferramenta de extrema importância na tomada de decisão do produtor, no momento de irrigar, pois, este proporcionaria melhores produtividades, possibilitando que o produtor fosse mais competitivo no mercado e mais bem remunerado na atividade da cafeicultura irrigada.

Apesar de não ser uma ferramenta de substituição para os métodos tradicionais, o Sistema de Suporte à Decisão Agrícola (SISDA), pode ser considerado uma técnica complementar aos mesmos, devido a sua aplicabilidade e custo relativamente inferior. Assim, o emprego do SISDA permitiu atingir o objetivo principal, do presente trabalho, que é, o manejo racional do uso da água e de energia elétrica na irrigação.

## 5. CONCLUSÕES

Diante do exposto e de acordo com os resultados, conclui-se que:

- No manejo da irrigação adotado pelo produtor, para o equipamento de irrigação por pivô central e gotejamento, a umidade do solo alcançou valores considerados muito baixos para a cultura do café, não sendo esses valores adequados para um bom desenvolvimento e produtividade do cafeeiro, o que tem se refletido nas baixas produtividades locais alcançadas.
- Os teores de umidade do solo, alcançados com o manejo simulado com o SISDA, mantiveram-se bem próximos aos valores de capacidade de campo, proporcionando, conseqüentemente, o melhores condições ao desenvolvimento e produtividade do cafeeiro
- Quanto ao rendimento dos motores avaliados, observou-se que a variação na amplitude de tensão e o desequilíbrio da rede elétrica influenciaram a redução destes rendimentos, implicando em maiores gastos com energia elétrica, por parte do empresário rural, além da possibilidade de danos nos motores.
- Quanto à racionalização do uso da energia elétrica via adequação de força motriz, em sistemas de irrigação do tipo pivô central e gotejamento, verificou-se que a substituição dos motores-padrão por outros padrões adequados à condição de carga, por de alto rendimento quanto por de alto rendimento adequados à condição de carga podem ser alternativas viáveis para redução nos gastos com energia.



- Na racionalização do uso da energia elétrica via adequação dos conjuntos motobombas utilizados nos equipamentos de irrigação por pivô central e gotejamento, as substituições propostas para todos os motobombas estudados, tornaram-se viáveis, possibilitando obter reduções consideráveis nos gastos com energia.

- A viabilidade técnico-econômica da redução nos gastos com energia elétrica, em sistemas de irrigação do tipo pivô central e gotejamento empregados na cultura do café, por meio da adequação de força motriz da adequação dos conjuntos motobombas, deve ser estudada para cada local específico.

- Um dos grandes fatores que influenciam os custos de produção, envolvidos nos sistemas de irrigação, são os custos com energia elétrica. Portanto, determinar meios que reduzam esses custos e proporcionem maiores rentabilidades aos cafeicultores é de extrema importância.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIANUAL: Anuário estatístico da agricultura brasileira. **Café**. FNP – Consultoria & Comércio, São Paulo, 2002. p. 208-243.
- AGRIBOMBAS – **Programa para Seleção Racional de Bombas Agrícola**. Versão 1.0. Dezembro de 2000. (CD-ROM).
- ALLEN, R. G.; JENSSEN, M. E.; WRIGHT, J. L.; BURMAN, R. D. Operacional estimates of reference evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, n. 4, p. 650 – 662. 1989.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements**. FAO. Irrigation and Drainage. Rome: FAO, 1998. 319p. (Paper 56).
- ANEEL. **Resolução nº 176, de 4 de abril de 2002**. Disponível em: <[www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)> acesso em 12 de ago de 2002.
- ANTUNES, R. C. B.; MANTOVANI, E.C.; SOARES, A.R.; RENA, A. B.; BONOMO, R. Área de observação e pesquisa em cafeicultura irrigada na região das vertentes de Minas Gerais – resultados de 1998/2000. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DE CAFÉS DO BRASIL, 2000. Poços de Caldas. **Anais...** 2000.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa, MG: Imprensa Universitária, Universidade Federal de Viçosa, 1996. 657 p.

- BOARETTI, W. A. **Comaparação entre métodos tradicionais de manejo de irrigação e o SISDA: um estudo de caso considerando os aspectos econômicos e ambientais para a cultura da banana no distrito de irrigação do Gorutuba – MG.** Viçosa, 2001. 100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2001.
- BONOMO, R. **Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado de minas Gerais.** Viçosa, 1999. 224p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- BRASIL. Ministério das minas e energia – MME. **Balanco Energético nacional.** Brasília: MME, 1996. 150p.
- BRITO, R. A. L.; SCALOPI, E.J. Estimativa de custos da irrigação por aspersão no Brasil. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 7, 1986, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: ABID, 1986. v. 3, p. 879-898.
- CAMARGO, I. M. T. **Noções básicas de engenharia econômica: aplicações no setor elétrico.** Brasília: FINATEC, 1998. 141p.
- CAMPANA, S. **Racionalização do uso da energia elétrica em sistemas de irrigação tipos pivô central e aspersão convencional.** Viçosa, MG: UFV, 2000. 108p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.
- CARDOSO, H. E. A.; MANTOVANI, E. C.; COSTA, L. C. As águas da agricultura. **Agroanalysis**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 3, p. 27 – 28, 1998.
- CEMIG. **Condições gerais de fornecimento de energia elétrica:** Resolução da ANEEL nº 456 de 29 de nov. de 2000. 2 ed. Belo Horizonte: MG, 1997.
- CEMIG. **Contrato de fornecimento de energia elétrica.** Estrutura horossazonal (tarifa verde). Fazenda Vista Alegre, Jaboticatubas:MG, 1997.
- CEMIG. **Estudo de otimização energética na irrigação por pivô central.** Belo Horizonte, 1993. 22p.
- CESAR, S.A.G., et al. Sistemas de produção dentro de uma abordagem metodológica de custos agrícola. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 38, n. 2, p. 117-149, 1991.

- CLARKE, D.; SMITH, M.; EL-ASKARI, K. **CropWat for Windows**: user guide. Versão 4.2. Rome: FAO, 1998. 43 p.
- COSTA, L. C. Modelagem e Simulação em Agrometeorologia. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 10, 1997, Piracicaba. Mesas-redondas, Suplemento dos **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p 3-20.
- DaMATTA, F. M.; RENA, A. B. **Ecofisiologia de cafezais sombreados e a pleno sol**. In: ZAMBOLIM, L. O estado da arte de tecnologias na produção de café. Viçosa – MG, Imprensa Universitária : UFV, 2002. p. 93 – 135.
- DOORENBOS, J. ; PRUITT, J. O. Crop Water Requirements. Roma, **Food an Agricultura Organization of the United Nations**, 1977. 144 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).
- DORF, R. C. **The eletrical engeneering handbook**. Boca Raton: The Institute of the Electrical and Electronic Engineering, 1993. 2661p.
- EMBRAPA. Café em números: **Previsão de safra e parque cafeeiro**. Safra 2001/2002. Disponível em: < [www.embrapa.br/cafe](http://www.embrapa.br/cafe) > acesso em 03 de dez de 2002.
- FARIA, M. A.; GUIMARÃES, R.J.; SILVA, E. L.; ALVES, M. E. B.; SILVA, M.L.A; VILELLA, W.M.C.; OLIVEIRA, L. A. M.; COSTA, H. S. C. Influência das lâminas de irrigação na maturação e produtividade do cafeeiro (*Coffea arábica* L.) – 1ª colheita. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DE CAFÉS DO BRASIL, 2000. Poços de Caldas. **Anais...**MG: 2000.
- FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY JÚNIOR.; C. e KUSKO, A. **Máquinas elétricas-conversão eletromecânica de energia- processos, dispositivos e sistemas**. São Paulo: McGraw-Hill, 1977. 554 p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Word water day: Irrigation could help fight hunger and poverty**. Disponível on line:<http://www.fao.org>. Acesso em: 29 de abril de 2002.
- FRANCISCO, W. **Matemática financeira**. São Paulo: Atlas, 1981. 351p.

- FRIZZONE, J.A., SILVEIRA, S. de F.R. **Análise de viabilidade econômica de projetos hidroagrícolas**. Brasília, DF: ABEAS, 1996. 89 p. (Curso por tutoria à distância. Curso de Gestão de Recursos Hídricos para o Desenvolvimento Sustentado de Projetos Hidroagrícolas. Módulo, 10).
- FRIZZONE J. A.; SILVEIRA, S. de F. R. **Avaliação e custos de projetos de irrigação**. In: SEMINÁRIO ENERGIA NA AGRICULTURA - CEMIG, 1, 2000, Uberaba. Anais... s.n. v 1, pg. 1-87.
- GELLER, H. S.; JANNUZZI, G. M.; SCHAEFFER, R. et al. **The efficient use of electricity in Brazil: Progress and opportunities**. American Council for an Energy, Efficient Economy, Washington, 1997. 30p.
- GOUVEIA, N. M.; SONDAHL, M. R. **Flowering and maturation in Coffea arábica cv. Red Catuai. X. International Scientific Colloquium on Coffe**, ASIC, Salvador, Brazil, 164, 1982.
- GUTIÉRREZ, M. V., MEINZER, F. C. Estimating water use and irrigation requeriments of coffee in Hawaii. **Journal of American Society Horticultural Science**. v. 119, n. 3, p. 652-657, 1994.
- HILL, R.W.; HANKS, R. J.; WRIGHT, J. L. Crop yield models adapted to irrigation scheduling programs. **Agricultural Research Service**, U.S.A.: Department of Agriculture, 1982. 90 p. (Research report 99)
- HOOD, C. P.; McCLENDON, R. W.; HOOK, J. E. Computer analysis of soybean irrigation management strategies. **Transaction of the A.S.A.E.**, St. Joseph, v. 30, n. 2, p. 417-423, 1987.
- IBSNAT. International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer – project 1989 a. **Documentation for IBSNAT Crop Models Input & Output Files Version 1.1**: for the decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT v. 2.1.) IBSNAT project, Honolulu: University of Hawaii, 1989 a. 61 p.
- JENSEN, M.E. **Design and Operation of Farm Irrigation Systems**. St. Joseph. Michigan, ASAE, 1983. 829p.

- JONES, J. W. Crop growth, development and production. In: Simposium of the American Society of agricultural Engineers, 1991, Chicago, Illinois. **Proccedings...**Chigago, Illinois: A.S.A.E., 1991. p. 447-457.
- KARASAWA, S.; FARIA, M.A. de; GUIMARÃES, R.J. Resposta do cafeeiro cv. Topázio MG – 1190 submetido a diferentes épocas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 6, n. 1, p. 28-34, 2002.
- KELLER, L.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook, 1990. 649 p.
- LEITE, C. A. M.; COSTA, F. A.; VALE, S. M. R. **Planejamento da empresa rural**. Brasília, DF: ABEAS, 1996. 56 p. (Curso de Administração Rural – Módulo 4).
- LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. **O uso da irrigação no Brasil**. Disponível em: < [www.mma.gov.br](http://www.mma.gov.br) > acesso em 18 de ago de 2002.
- MANTOVANI, E.C. Consórcio Brasileiro de P&D do café na irrigação do cafeeiro. **ITEM: Irrigação & Tecnologia Moderna**. n. 48, p. 28-30, 2000.
- MANTOVANI, E. C.; COSTA, L.C.; LEAL, B.G. SISDA – Sistema de Suporte à Decisão Agrícola. In: CONGRESSO DA SBI-AGRO (Agrosoft 97) 1, 1997, Belo Horizonte, MG. **Anais...** Belo Horizonte, MG: Agrosoft, CTSOFT, SBI-AGRO, 1997. p. 377-382.
- MANTOVANI, E. C. **Diferentes níveis de produtividades e classificação quanto aos custos médios da cafeicultura irrigada**. Comunicação pessoal. Universidade Federal de Viçosa, 05 de dez de 2002.
- MANTOVANI, E. C. O futuro da cafeicultura irrigada. **ITEM: Irrigação & Tecnologia Moderna**. n. 55, p. 42, 2002.
- MANTOVANI, E. C.; MEDEIROS, J. P. V. de. **Avaliação de métodos para estimativa da evapotranspiração de para Viçosa, MG**. Seminário de graduação – UFV. 20 p. (1995).

- MARTIN, N. B., et al. Custos: sistema de custo de produção agrícola. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 24, n. 9, 1994.
- MARTIN, N. B., et al. Sistema integrado de custos agropecuários -CUSTAGRI. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 28, n. 1, 1998.
- MATIELLO, J. B.; DANTAS, F. S. Desenvolvimento do cafeeiro e seu sistema radicular, com e sem irrigação, em Brejão (PE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, Campinas, 1987. **Anais...** Campinas: 1987. p. 165-166.
- MATIELLO, J. B. **O café – do cultivo ao consumo**. São Paulo: Globo, 1991. 320 p.
- MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNÁNDEZ, D. R. **Cultura do café no Brasil: Novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro – RJ: Reproarte, 2002. 387 p.
- MATSUNAGA, M., et al. Metodologia de custo de produção utilizados pela IEA. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 23, n.1, p. 123-139, 1976.
- MELO, J. F. **Custo da irrigação por aspersão em Minas Gerais**. 1993. 147 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- MENDONÇA, F. C. Evolução dos custos e avaliação econômica de sistemas de irrigação utilizados na cafeicultura. ENCONTRO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO DA CAFEICULTURA DO CERRADO, 2000, Uberlândia. **Anais...** 2000, p. 45-78.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.
- PINHEIRO, S. F. Conservação de energia elétrica-recurso energético planificável. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 1989, Campinas. **Anais...** Campinas: Dag, 1989. v. 3, p. 95-108.
- POLÍTICA NACIONAL DE RECURSO HÍDRICOS. **Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997**. Gráficos Charbel. 1997. 35 p.

- PRAJAMWONG, S.; MERKLEY, G. P.; ALLEN, R. G. Decision support model for irrigation water management. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 123, n. 2, p. 106-113, march/april, 1997.
- PROCEL. **Programa de combate ao desperdício de energia elétrica – motor de alto rendimento**. Guia técnico. Rio de Janeiro: 1998, v.1. 18p.
- PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – PROCEL. **Estudo de otimização energética-setor irrigação pivô central**. Belo Horizonte:, PROCEL, 1996. p. 12.
- REIS, G. N., MIGUEL, A. E.; OLIVEIRA, J. A. Efeito da irrigação, em presença e ausência da adubação NPK, em cafeeiros em produção – Resultados de 3 produções – em Caratinga – MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 16, Espírito Santo do Pinhal, 1990. **Anais...** Espírito Santo do Pinhal: 1990. p. 19-21.
- RODRIGO LÓPEZ, J.; HERNÁNDEZ ABREU, J. M.; PÉREZ REGALADO, A.; GONZÁLEZ HERNÁNDEZ, J. F. **Riego localizado**. Madrid: Mundi-Prensa, 1992. 405 p.
- SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. Arbore, 1 ed, 140 p., 1996.
- SANTOS, W. L.; RAMOS , M. M. **SACRID – Software para aquisição de coordenadas reais de imagens digitais**. Universidade Federal de Viçosa (UFV), 2000. Disponível via URL: <http://www.ufv.br>. Consulta realizada em 2002.
- SCALCO, M.S., MORAIS, A.R. de, COLOMBO, A., CARVALHO, H.M. de, FARIA, M.A. de, MELO, L.Q. de, SILVA, E.L. da. Influência de diferentes critérios de irrigação e densidade de planto sobre o crescimento inicial do cafeeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 5. Araguari, 2002. **Anais...**Uberlândia: ICIAG/UFV, 2002, p. 150-155.
- SILVA, A.M. da; LIMA, E.P.; SILVA, E.L. da; COELHO, G.; COELHO, M.R.; COELHO, G.S.; CASTRO, F.R. da. Efeitos da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e déficit de pressão de vapor (DPV) sobre o comportamento



- estomático do café. In : SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1, POÇOS DE CALDAS, 2000. **Resumos Expandidos...**, vol. 1, Poços de Caldas, 2000, p. 49-51.
- SOARES, A. R. **Irrigação, fertirrigação, fisiologia e produção em cafeeiros adultos na região da Zona da Mata de Minas Gerais**. Viçosa, MG, 2001. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2001.
- SOARES, J. A. e TABOSA, R. P. **Motores elétricos: uma análise comparativa de mercado e eficiência**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 7, 1996, Rio de Janeiro. Anais... pg. 2019-2028.
- SOARES, J. A. e HERSZTBERG, I. e AROUCA, M. C. **Avaliação econômica da utilização de motores elétricos industriais de indução de alto rendimento**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 7, 1996, Rio de Janeiro. Anais... pg. 2059-2073.
- TANABE, C. S.; OLIVEIRA FILHO, D. **Considerações sobre a utilização eficiente da energia nas tarifas de energia elétrica**. Viçosa, Mg: UFV, 1998. 72 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- THOMPSON, G. T.; SPIESS, L.B.; KRIDER, J. N. **Farm resources and systems selection**. In: JENSEN, M. E. (Ed.). Design and operation of farm irrigation systems. St Joseph: ASAE, 1983. p. 45-76 (Monograph, 3).
- VANDEN BULCKE, M. et al. **User's manual of SIMIS** (Scheme Irrigation Management Information Systems) Versão 2.0. Rome: FAO, 1996. 238 p.
- WEG. **Catálogo eletrônico de produtos**. Jaraguá do Sul: WEG, 2001. versão 4,03.
- ZANINI, J.R., OLIVEIRA, J.C., PAVANI, L.C., PEDROSO, P.A., VALIM, M.R. Efeito da irrigação no desenvolvimento vegetativo de cafeeiros novos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23, 1994. **Resumos...**, Campinas, 1994, 30p.

## **ANEXOS**

Curvas características de rendimento dos motores em uso na fazenda.

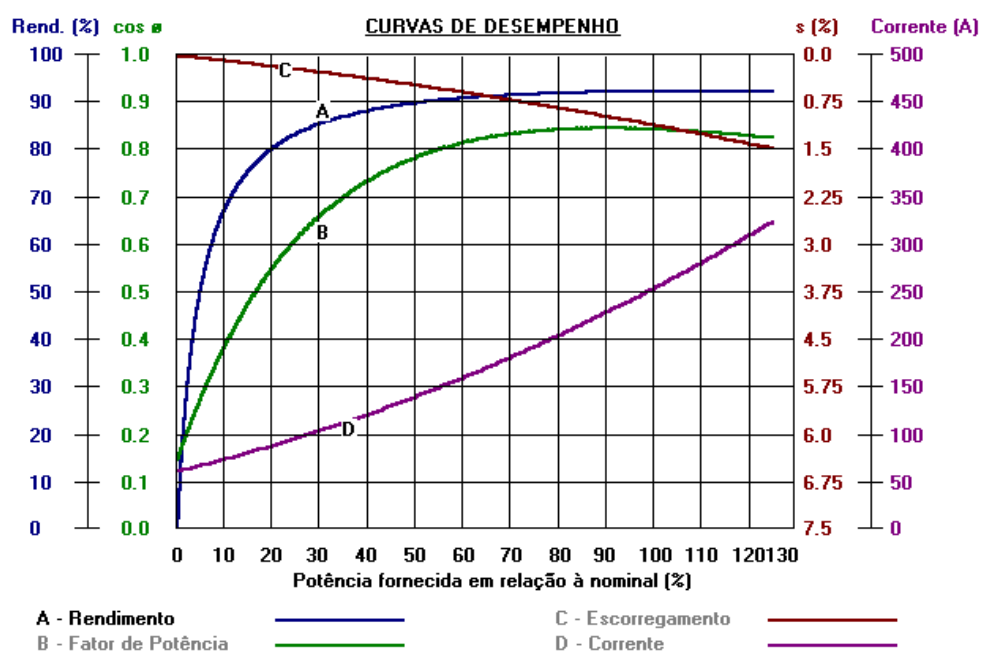


Figura 1A – Curva característica de rendimento, corrente, escorregamento e fator de potência do motor utilizado no equipamento de pivô central (175 cv).

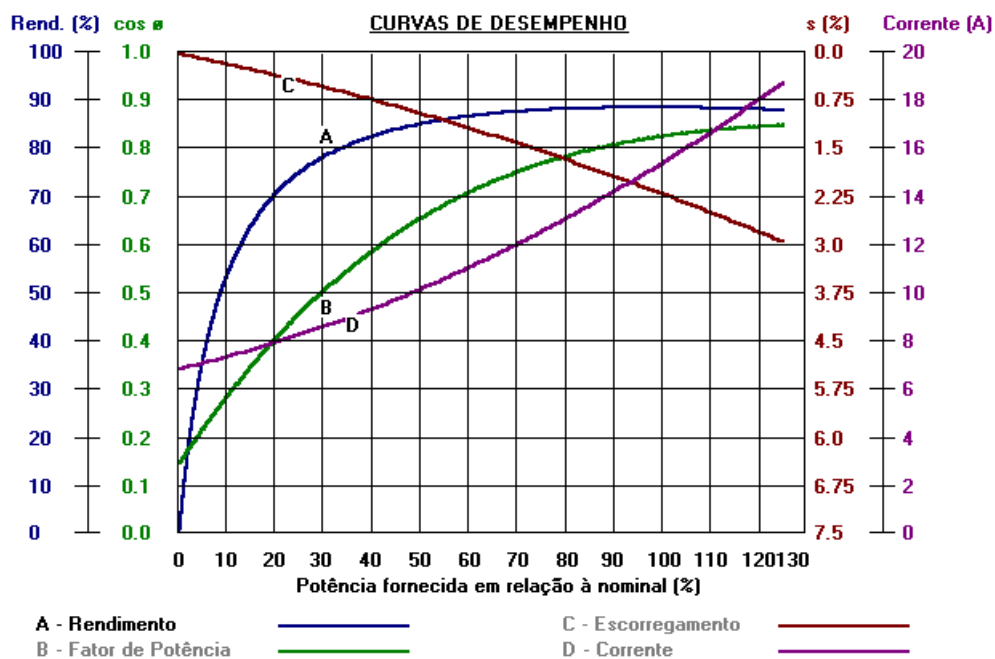


Figura 2 A – Curva característica de rendimento, corrente, escorregamento e fator de potência do motor utilizado no equipamento de gotejamento (10 cv).

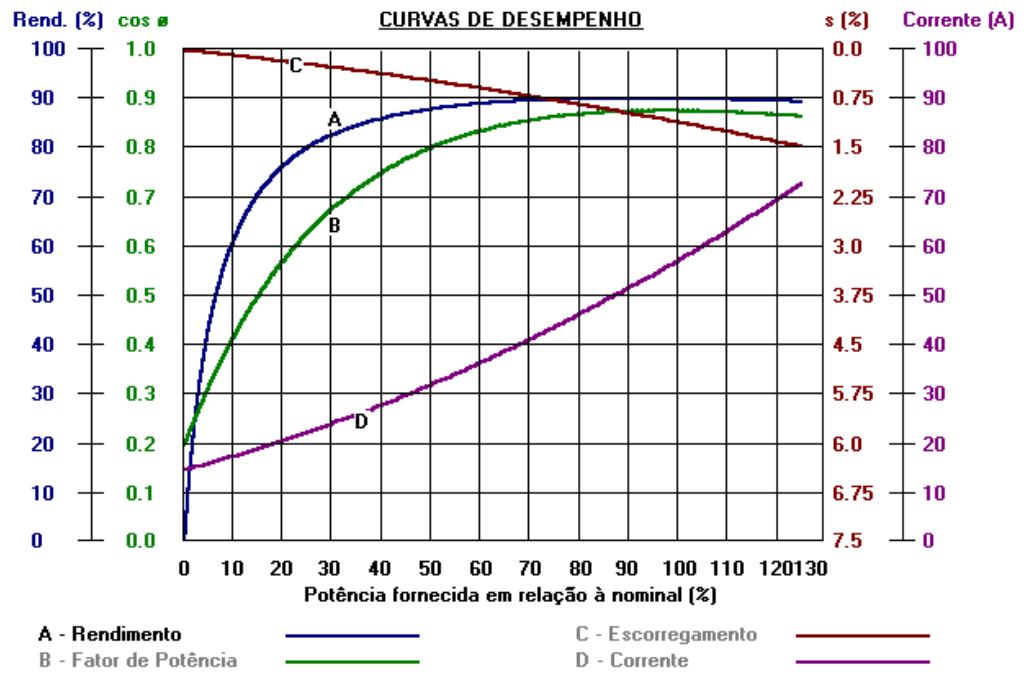


Figura 3 A – Curva característica de rendimento, corrente, escorregamento e fator de potência do motor utilizado no equipamento de gotejamento (40 cv).

Curvas características das bombas em uso na fazenda.

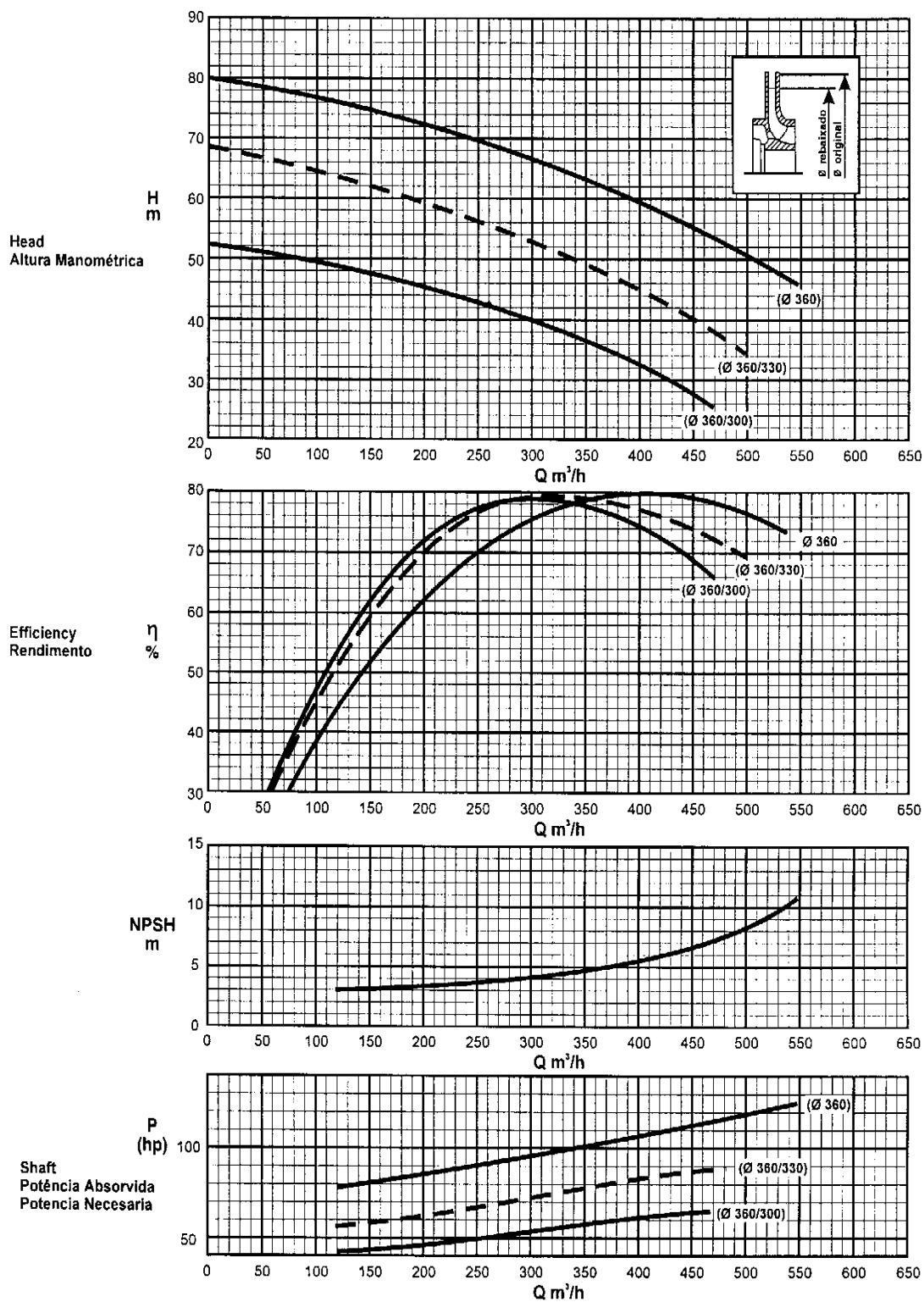
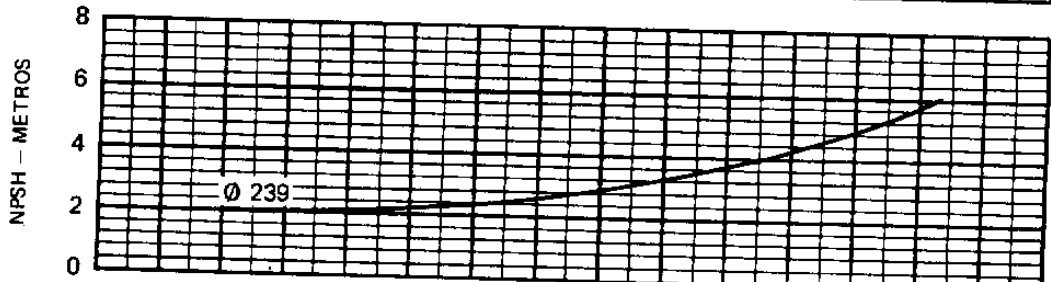
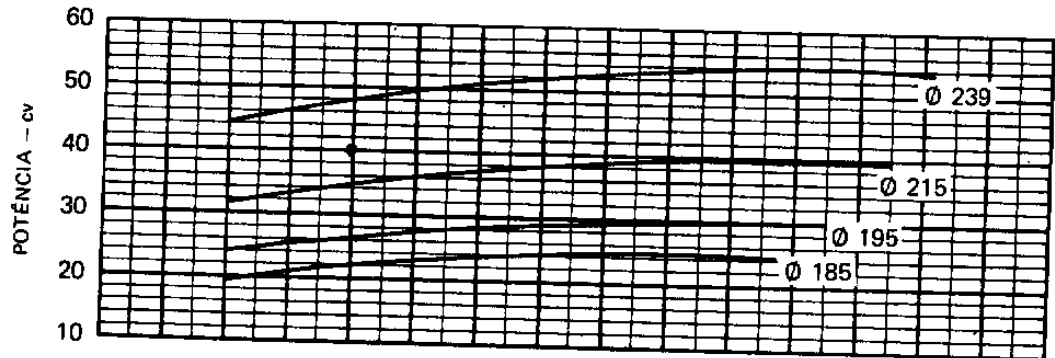
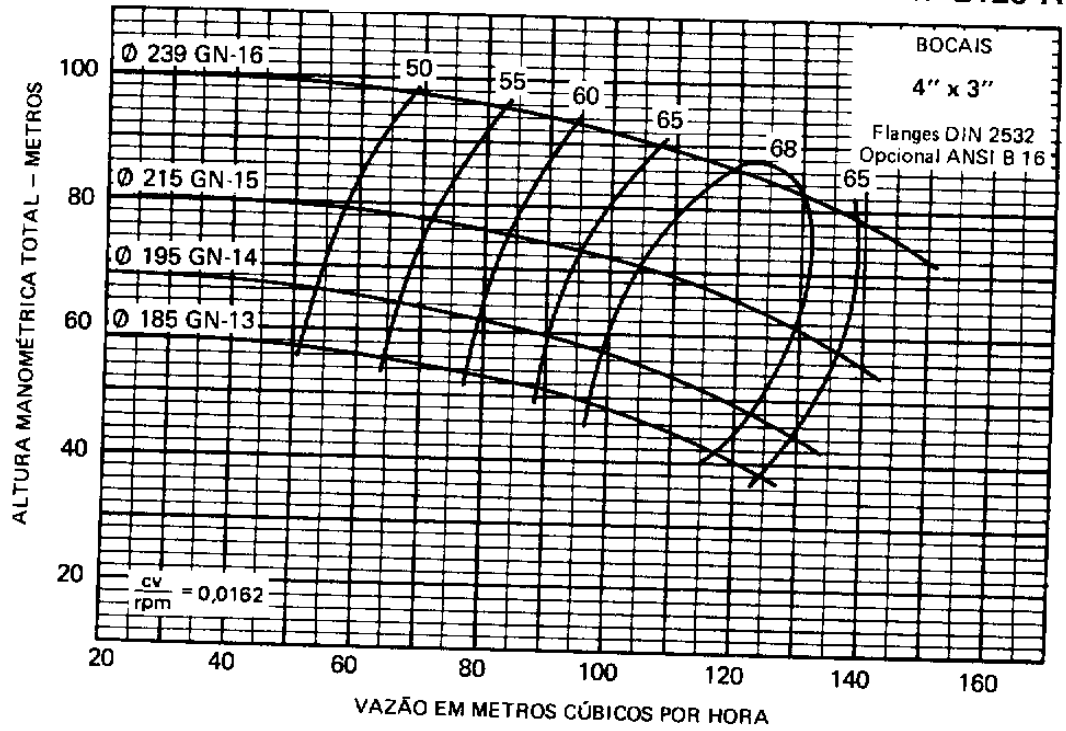


Figura 1B – Curva característica da bomba utilizada no equipamento do tipo pivô central.

GN

nº 2125-A



Modelo do rotor 1817

Figura 2B - Curva característica da bomba utilizada no equipamento do tipo gotejamento.