

ADRIANE REGINA BORTOLOZZO

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS PERÍMETROS IRRIGADOS DO
JAÍBA, DO PARACATU/ENTRE RIBEIROS E DO NILO COELHO

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL

2001

ADRIANE REGINA BORTOLOZZO

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS PERÍMETROS IRRIGADOS DO
JAÍBA, DO PARACATU/ENTRE RIBEIROS E DO NILO COELHO

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

APROVADA EM: 26 de novembro de 2001.

Prof. Everardo Chartuni Mantovani
(Conselheiro)

Prof. Mauro Aparecido Martinez

Prof. Rubens Alves de Oliveira

Prof. Paulo Afonso Ferreira

Prof. Antônio Alves Soares
(Orientador)

“Por um gesto se julga um caráter. Por um caráter se julga um povo.”

Eça de Queiroz

ÀQUELE que nos criou e que nos rege,
que fez deste trabalho ponte para a
continuidade do meu crescimento e
evolução.

A mim!

Ao meu marido Leandro.

À minha mãe, exemplo de pessoa...

Aos meus irmãos, tão amados...

À minha amiga eterna Eliane.

Ao “chorão” (*in memoriam*), verdadeira
amizade e companhia incondicional!

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela bolsa de estudo.

À Universidade Federal de Viçosa, por meio do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), pela oportunidade de realizar o Programa.

Ao Professor Antônio Alves Soares, pela orientação e pelo voto de confiança.

Ao Dr. Ricardo Augusto Lopes Brito, pela orientação, pela amizade e por todas as ajudas, diretas e indiretas, durante a minha permanência em Sete Lagoas (inclusive pela estada da Baby).

Ao Professor Everardo Chartuni Mantovani, pela ajuda, pelo apoio e pela co-orientação.

Ao Professor Márcio Mota Ramos, exemplo de pessoa e de docente, pela amizade, pelos conselhos e pela valiosa co-orientação.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pela oportunidade e pelo apoio para a realização deste trabalho.

Ao meu marido Leandro, pelo apoio em tudo.

A Nicolau e Eliana Schaun, pela amizade, pela acolhida e por toda a ajuda recebida, fazendo-me sentir membro de sua família.

Ao Pesquisador da EMBRAPA Gilson Pitta (grande pessoa), pela grande amizade, pela ajuda e pelos “papos” durante o almoço.

À Associação de Apoio aos Produtores do Paracatu/Entre Ribeiros (AAPER), bem como aos produtores, pela presteza e disposição no auxílio durante a coleta dos dados do PCPER.

Ao Engenheiro Agrônomo Paulo Fernando (Fernandes) de Oliveira, pela amizade e pelo auxílio no PCPER quando coletei os dados para a realização deste estudo.

Ao pessoal do Distrito de Irrigação Senador Nilo Coelho (DISNIC), pela presteza e colaboração durante a minha visita.

Ao meu colega Gustavo H. F. de Souza, pela disposição e pelo auxílio na obtenção dos dados do DISNIC e pela companhia por ocasião da minha visita ao Projeto e à Barragem de Sobradinho.

Aos Pesquisadores Reinaldo Gomide, Evandro Chartuni Mantovani, Paulo Emílio e Camilo, pela acolhida no NIASA (EMBRAPA) e pela ajuda sempre que precisei (pelos churrascos também!).

Ao Mauro Kobayashi, pela amizade e pelos auxílios sempre que necessários.

Aos funcionários do NIASA, nas pessoas dos Srs. Osvaldo, Levi, Márcio e João Batista, pela colaboração.

Aos meus colegas do Programa de Doutorado Renata, José Márcio, João Hélio, Viviane, Harold e Paulo Sérgio, que fizeram a minha estada em Viçosa, na época dos créditos, um pouco menos árdua e menos desagradável.

Ao meu colega Nori Paulo Griebler, pela hospitalidade na minha chegada a Viçosa para o início do Programa.

BIOGRAFIA

Adriane Regina Bortolozzo, natural de Palotina, PR.

Em 1992, formou-se em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE.

Em março de 1993, iniciou o Mestrado em Agronomia na Universidade Federal do Paraná –UFPR, concluindo-o em 1995.

De agosto de 1995 a fevereiro de 1997, foi Professora Substituta, na mesma Instituição, da disciplina de Conservação de Solos.

Em março de 1997, iniciou o Programa de Pós-Graduação, em nível de Doutorado, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, na área de Irrigação e Drenagem, concluindo-o em novembro de 2002.

Atualmente, é professora na Faculdade de Ciências e Tecnologia de Unai – FACTU.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE QUADROS	xi
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE FIGURAS	xv
LISTA DE SÍMBOLOS	xvi
RESUMO	xviii
ABSTRACT	xx
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Indicadores de desempenho	5
2.2. Indicadores de balanço hídrico	8
2.2.1. Desempenho do sistema de distribuição	9
2.2.2. Razão de balanço hídrico	9
2.2.3. Razão de aplicação no campo	9
2.2.4. Razão da unidade terciária	10
2.2.5. Razão global de consumo	10
2.2.6. Razão de condução	11
2.2.7. Razão de suprimento	11

	Página
2.2.8. Grau de confiabilidade do sistema de irrigação	12
2.3. Sustentabilidade ambiental e drenagem	13
2.3.1. Sustentabilidade da área irrigada	13
2.3.2. Profundidade do lençol freático	14
2.3.3. Poluição da água	14
2.3.4. Salinidade	15
2.3.5. Matéria orgânica (MO)	16
2.3.6. Poluição biológica	17
2.3.7. Poluição química	17
2.4. Indicadores de manutenção	17
2.4.1. Manutenção geral	17
2.4.2. Sustentabilidade do nível da água e relação vazão-carga	17
2.5. Desempenho socioeconômico	18
2.5.1. Viabilidade econômica	18
2.5.2. Viabilidade financeira dos sistemas de irrigação	18
2.5.3. Lucros da agricultura irrigada	18
2.5.4. Capacidade social	19
2.6. Limitações dos indicadores	22
2.7. O programa RPIP	25
3. MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1. Descrição das áreas de estudo	29
3.1.1. Perímetro irrigado do Jaíba (DIJ)	29
3.1.2. Perímetro irrigado Senador Nilo Coelho (DISNIC)	31
3.1.3. Perímetro irrigado Paracatu/Entre Ribeiros (PCPER)	33
3.2. Determinação dos indicadores	36
3.2.1. Perímetro irrigado do Jaíba (DIJ)	36
3.2.2. Perímetro irrigado Senador Nilo Coelho (DISNIC)	37
3.2.3. Perímetro irrigado Paracatu/Entre Ribeiros I (PCPER I)	38
3.3. Comparação entre os perímetros	42

	Página
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1. Razão global de consumo (RGC)	44
4.1.1. Razão global de consumo para o perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I	44
4.1.2. Razão global de consumo para o perímetro Senador Nilo Coelho	45
4.1.3. Razão global de consumo para o perímetro Jaíba	47
4.1.4. Comparação entre os perímetros	48
4.2. Razão de suprimento (R_d)	50
4.2.1. Razão de suprimento para o perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I	50
4.2.2. Razão de suprimento para o perímetro Senador Nilo Coelho ..	52
4.2.3. Comparação entre os perímetros	53
4.3. Sustentabilidade da área irrigada (SAI)	54
4.3.1. Sustentabilidade da área irrigada para o perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I	54
4.3.2. Sustentabilidade da área irrigada no perímetro Senador Nilo Coelho	55
4.3.3. Sustentabilidade da área irrigada para o perímetro Jaíba	56
4.3.4. Comparação entre os perímetros	57
4.4. Fração de operação e manutenção (FOM)	58
4.4.1. Fração de operação e manutenção no perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I	58
4.4.2. Fração de operação e manutenção do perímetro Jaíba	59
4.4.3. Comparação entre os perímetros	60
4.5. Energia	62
4.5.1. Demanda de potência e consumo de energia no perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I	62
4.5.2. Demanda de potência e consumo de energia no perímetro Senador Nilo Coelho	64

	Página
4.5.3. Comparação entre os perímetros	65
4.6. Retorno econômico bruto unitário (REcBU)	68
4.6.1. Retorno econômico bruto unitário para o perímetro Paracatu Entre/Ribeiros I	68
4.6.2. Retorno econômico bruto unitário do perímetro Senador Nilo Coelho	69
4.6.3. Comparação entre os perímetros	70
4.7. Relação global benefício/custo (RGBC)	71
4.7.1. Relação global benefício/custo do perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I	71
4.7.2. Relação global benefício/custo do perímetro Senador Nilo Coelho	72
4.7.3. Comparação entre os perímetros	73
4.8. Análise crítica de cada indicador	75
4.8.1. Razão global de consumo (RGC)	75
4.8.2. Razão de suprimento (R_d)	76
4.8.3. Sustentabilidade da área irrigada (SAI)	76
4.8.4. Fração de operação e manutenção (FOM)	77
4.8.5. Energia	77
4.8.6. Retorno econômico bruto unitário (REcBU)	78
4.8.7. Relação global benefício/custo (RGBC)	78
4.9. Valores médios dos indicadores dos três Perímetros	79
4.10. Análise crítica geral	81
5. RESUMO E CONCLUSÕES	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

LISTA DE QUADROS

	Página
1. Número mínimo de indicadores, fórmulas e dados necessários para o cálculo dos mesmos	27
2. Valores adotados para a profundidade das raízes	39

LISTA DE TABELAS

	Página
1. Razão global de consumo do perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I nos anos de 1997 a 2000	44
2. Razão global de consumo do perímetro Senador Nilo Coelho nos anos de 1990 a 1998	46
3. Razão global de consumo do perímetro Jaíba nos anos de 1996 a 1998	47
4. Razão global de consumo dos perímetros Paracatu/Entre Ribeiros I, Senador Nilo Coelho e Jaíba	49
5. Razão de suprimento do perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I nos anos de 1997 a 2000	51
6. Razão de suprimento do perímetro Senador Nilo Coelho nos anos de 1989 a 2000	52
7. Razão de suprimento dos perímetros Paracatu/Entre Ribeiros I e Senador Nilo Coelho	54
8. Sustentabilidade da área irrigada do perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I nos anos de 1997 a 2000	55

	Página
9. Sustentabilidade da área irrigada do perímetro Senador Nilo Coelho nos anos de 1989 a 2000	56
10. Sustentabilidade da área irrigada do perímetro Jaíba nos anos de 1993 a 1998	57
11. Sustentabilidade da área irrigada dos perímetros Paracatu/Entre Ribeiros I, Senador Nilo Coelho e Jaíba	58
12. Fração de operação e manutenção do perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I nos anos de 1997 a 2000	59
13. Fração de operação e manutenção do perímetro Jaíba nos anos de 1995 a 1998 (em porcentagem)	60
14. Fração de operação e manutenção dos perímetros Paracatu/Entre Ribeiros I e Jaíba	61
15. Porcentagem dos gastos com energia elétrica no perímetro Jaíba nos anos de 1995 a 1998	61
16. Demanda de potência e consumo de energia do perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I nos anos de 1997 a 2000	63
17. Demanda de potência e consumo de energia do perímetro Nilo Coelho nos anos de 1991 a 2000	65
18. Demanda de potência e consumo de energia dos perímetros Paracatu/Entre Ribeiros I e Senador Nilo Coelho	66
19. Retorno econômico bruto unitário do perímetro Paracatu Entre/Ribeiros I nos anos de 1997 a 2000	68
20. Retorno econômico bruto unitário do perímetro Senador Nilo Coelho nos anos de 1993 a 1998	69
21. Retorno econômico bruto unitário dos perímetros Paracatu/Entre Ribeiros I e Senador Nilo Coelho	70
22. Relação global benefício/custo do perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I nos anos de 1997 a 2000	71
23. Preço médio ponderado da água do perímetro Senador Nilo Coelho nos anos de 1993 a 1998	72

	Página
24. Relação global benefício/custo do perímetro Senador Nilo Coelho nos anos de 1993 a 1998	73
25. Relação global benefício/custo dos perímetros Paracatu/Entre Ribeiros I e Senador Nilo Coelho	74
26. Valor médio dos anos de 1997 e 1998 para cada indicador dos três perímetros estudados	79

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Inter-relação esquemática entre atividades estratégicas e operacionais de gerenciamento e diagnóstico	21
2. Avaliação do desempenho ao longo do tempo	22
3. Localização do Projeto Jaíba	30
4. Localização do Distrito Senador Nilo Coelho (DISNIC), Petrolina, PE	32
5. Croqui do PCPER com todas as fases	35

LISTA DE SÍMBOLOS

AAPER	- Associação de Apoio aos Produtores do Paracatu/Entre Ribeiros
ATER	- Assistência Técnica do DISNIC
BDMG	- Banco de Desenvolvimento do Estado de Minas Gerais
CD	- Confiabilidade da duração da entrega
CE	- Condutividade elétrica
CEn	- Consumo de energia
CER	- Condutividade elétrica relativa
CHESF	- Companhia Hidroelétrica do São Francisco
CI	- Confiabilidade do intervalo ou frequência de irrigação
CODEVASF	- Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco
COOPERVAP	- Cooperativa Agropecuária do Vale do Paracatu Ltda.
DBO	- Demanda Bioquímica de Oxigênio
DDA	- Desempenho da distribuição de água
DDP	- Demanda de potência
DIJ	- Distrito de Irrigação Jaíba
DISNIC	- Distrito de Irrigação Nilo Coelho
DQO	- Demanda Química de Oxigênio
D _s	- Desempenho do Sistema de Distribuição
EB	- Estação de bombeamento

EBP	- Estação de bombeamento principal
ET_p	- Evapotranspiração potencial da cultura
FMA	- Fornecimento médio de água
ICID	- Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem
L	- Litro
meq	- Miliequivalente
MO	- Matéria orgânica
NO_3^{-1}	- Nitrato
O&M	- Operação e manutenção
P	- Fósforo
PCPER	- Projeto de Colonização Paracatu/Entre Ribeiros
P_e	- Precipitação efetiva
PISNIC	- Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho
PRLF	- Profundidade relativa do lençol freático
PRODECER	- Programa de desenvolvimento do cerrado brasileiro
RAC	- Razão de aplicação no campo
RANP	- Razão de aplicação em nível de parcela
R_d	- Razão de suprimento
REcBU	- Retorno econômico bruto unitário
RGC	- Razão global de consumo
RGBC	- Relação global benefício custo
SAI	- Sustentabilidade da área irrigada
TCTA	- Taxa de coleta da tarifa de água
VBP	- Valor bruto da produção
V_c	- Volume de água bombeado do rio ou reservatório
V_d	- Volume de água derivado para o sistema
$V_m = (ET_p - P_e)$	- Volume de água correspondente à demanda de irrigação
V_1	- Volume proveniente de outras fontes de entrada para o sistema de condução
V_2	- Volume de entregas do sistema de distribuição sem objetivo de irrigação

RESUMO

BORTOLOZZO, Adriane Regine, D.S., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2001. **Avaliação do desempenho dos perímetros irrigados do Jaíba, do Paracatu/Entre Ribeiros e do Nilo Coelho.** Orientador: Antônio Alves Soares. Conselheiros: Everardo Chartuni Mantovani, Márcio Mota Ramos e Ricardo Augusto Lopes Brito.

Apesar de vários programas do governo terem sido implementados, ainda existem muitos deles relacionados ao desempenho dos perímetros irrigados. Indicadores de desempenho, quando adequadamente escolhidos, evidenciam, ao longo do tempo, resultados e modificações encontrados no perímetro analisado, de forma a poder sinalizar o alcance das metas previstas. O acompanhamento contínuo por meio de indicadores de desempenho torna-se atividade obrigatória na análise dos fatores que conduzem à obtenção das metas. O estudo de desempenho permitirá fazer comparações de como um sistema tem se comportado com relação a outros similares. Isso é uma importante ferramenta para produtores interessados em saber quando e quanto investir na irrigação e torna possível a tomada de medidas de gestão dos perímetros irrigados. A avaliação comparativa fornecerá indicadores totais onde melhorias podem ser feitas, em termos de manejo, infra-estrutura ou alocação de água, e permitirá

salientar e entender os padrões relacionados ao desempenho. O presente trabalho teve por objetivos avaliar o desempenho de perímetros de irrigação, de maneira global e quantitativa, com os dados de três áreas-piloto, objetivando contribuir para a consolidação dos parâmetros selecionados e da metodologia em desenvolvimento; e verificar a possibilidade de reduzir ou ampliar o número de indicadores analisados. Para efeitos comparativos, foram utilizados os anos de 1997 e 1998, comuns aos três perímetros. Através dos dados e das análises, foi possível chegar às seguintes conclusões: a razão global de consumo apresentou valores máximos de 0,39; 0,56; e 0,75 no PCPER I, DISNIC e DIJ, respectivamente. Quanto à R_d , os valores encontrados foram de 0,84 no PCPER I e 0,96 no DISNIC. Dos três perímetros estudados, o PCPER I apresentou a melhor taxa de ocupação, seguido do DISNIC e do DIJ, com os valores de 0,97; 0,64; e 0,52, respectivamente. Os dados da Fração de Operação e Manutenção foram de 0,69 no PCPER I e 0,29 no DIJ. Os valores dos indicadores associados à energia do PCPER I foram de $0,00065 \text{ kW m}^{-3}$ e $5,29 \text{ kW ha}^{-1}$ para a demanda de potência e $0,21 \text{ kWh m}^{-3}$ e $1736,12 \text{ kWh ha}^{-1}$ para o consumo de energia. No DISNIC, foram encontrados os valores de $0,00048 \text{ kW m}^{-3}$ e $5,72 \text{ kW ha}^{-1}$ para a demanda de potência e $0,098 \text{ kWh m}^{-3}$ e $1176,34 \text{ kWh ha}^{-1}$ para o consumo de energia. O REcBU apresentou valores de $0,36 \text{ U\$ m}^{-3}$ e $0,42 \text{ U\$ m}^{-3}$ no PCPER I e DISNIC, respectivamente, sendo tais valores influenciados pelo preço de comercialização dos produtos. O PCPER I teve benefício/custo global bruto maior do que o DISNIC, cujos valores das razões foram de 32,50 e 24,21, respectivamente. Ficou evidente a interdependência entre os indicadores, o que é desejável na metodologia utilizada no presente estudo. A determinação, de maneira global, dos indicadores permitirá a tomada de medidas para um melhor gerenciamento e desempenho dos perímetros em análise.

ABSTRACT

BORTOLOZZO, Adriane Regine, D.S., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2001. **Performance assessment of the Jaíba, Paracatu/Entre RIBEIROS and Nilo Coelho irrigation.** Adviser: Antônio Alves Soares. Committee members: Everardo Chartuni Mantovani, Márcio Mota Ramos and Ricardo Augusto Lopes Brito.

Several government programmes concerned irrigation and water management in agricultural systems led to a gradual and more precise evaluation of the irrigated areas. The performance indicators in different irrigation schemes, when used adequately, might have contributed to improve the overall standards of the production areas. To monitor the schemes through these indicators is imperative. Some variables have to be considered, prior the evaluation; such as management of the system, infrastructure of the farm, water use are of great importance. This work aimed to assess the performance of three irrigation schemes by using quantitative parameters that better represented the efficiency of the schemes performance. The data used to comparison were mean values collected between 1997 and 1998. The main conclusions are: The Overall Consumptive Ratio were 0,39; 0,56 and 0,75 for PCPERI, DISNIC and DIJ, respectively. The Delivery Ratio values found for PCPERI were 0,84 and for

DISNIC 0,96. Of the three irrigated schemes evaluated the PCPERI showed the better occupation rate followed by DISNIC and DIJ, where the values obtained were 0,97; 0,64 and 0,52, respectively. The values of the operation and maintenance fraction were 0,69 for PCPER I and 0,29 for DIJ. Evaluation of the indicators related to energy demand for PCPER I were $0,00065 \text{ kW m}^{-3}$ and $5,29 \text{ kW ha}^{-1}$ for the power demand and $0,21 \text{ kWh m}^{-3}$ and $1736,12 \text{ kWh ha}^{-1}$ for energy consumption, while for the DISNIC, the values were $0,00048 \text{ kW m}^{-3}$, $5,72 \text{ kW ha}^{-1}$, $0,098 \text{ kWh m}^{-3}$ and $1176,34 \text{ kWh ha}^{-1}$, respectively. The values of Unit Gross Economic Return found for PCPER I ($0,36 \text{ U\$ m}^{-3}$) and for DISNIC ($0,42 \text{ U\$ m}^{-3}$) are dependent on the commercial price of the products. The Global Benefit/Cost Ratio for PCPER I was 32,50 while for DISNIC it was 24,21. It was also observed the significant overall interdependence of the indicators, thus confirming the validation of this methodology, also help to monitoring the irrigation schemes.

1. INTRODUÇÃO

A humanidade já passou por diversas crises, como as de epidemia, de alimentos e de petróleo. Sem dúvida alguma, as próximas crises serão de energia e de disponibilidade de água de qualidade adequada para os diversos usos.

O crescimento da população mundial vem exigindo uma agricultura competitiva e tecnificada que possibilite a produção de alimentos de melhor qualidade e em maior quantidade. No entanto, o crescimento da produção agrícola exige transformações com inovações tecnológicas que permitam a melhoria da produtividade das culturas, e a irrigação constitui excelente estratégia para o alcance desses objetivos.

Além do aumento da qualidade e da produtividade, para ser competitiva a agricultura atual tem que levar em consideração a conservação do meio ambiente e ser sustentável. Dessa forma, é importante avaliar e adequar cada um dos fatores que compõem o sistema de produção, incluindo a eficiência e o manejo da água de irrigação.

No manejo racional de qualquer sistema de irrigação, devem-se considerar os aspectos sociais, técnicos, econômicos e ecológicos da região, maximizando a produtividade e a eficiência do uso da água, minimizando os custos e mantendo as condições de umidade do solo e de fitossanidade favoráveis ao bom desenvolvimento da cultura irrigada. Deve-se, também, melhorar ou, no mínimo,

manter as condições físicas, químicas e biológicas do solo, pois isso afetará a vida útil do sistema de produção (BERNARDO, 1995).

Quando se constata que a irrigação, dentre os diferentes usos da água, é o que utiliza volume mais expressivo, qualquer melhoria na eficiência desse uso trará benefícios consideráveis, levando em conta que a área irrigada mundial atinge quase 300.000.000 ha.

No Brasil, a despeito do seu considerável potencial hídrico, existe escassez de água para produção agrícola não apenas no semi-árido nordestino, como também em algumas regiões do centro-sul, por causa da má distribuição dos recursos hídricos no seu território e, ou, da concentração de atividades econômicas em uma região. Em 1997, foi aprovada a Lei dos Recursos Hídricos (Lei 9.433/97), cujos principais objetivos são disciplinar o uso dos recursos hídricos e estabelecer critérios para cobrança pelo uso da água em todas as instâncias. A principal repercussão dessa lei será o uso racional da água, com grande impacto na agricultura irrigada. Desse modo, é grande a necessidade de estabelecer uma metodologia de avaliação de desempenho dos projetos de irrigação, para que se possam identificar os pontos críticos e recomendar intervenções de manejo e de gerenciamento que venham contribuir para a sua sustentabilidade (BRITO, 1999).

Apesar de vários programas do governo (PROVÁRZEAS, PROFIR, PRONI, PROINE etc.) terem sido implementados, ainda existem muitos problemas relacionados ao desempenho dos projetos/perímetros de irrigação, cujos resultados, de forma global, são freqüentemente insatisfatórios. A identificação das causas desse baixo desempenho provavelmente esteja associada à inexistência de uma metodologia de avaliação de projetos que adote uma abordagem global, em que vários indicadores sejam avaliados simultaneamente, de maneira que permitam uma visão mais ampla e multifatorial do empreendimento. BRITO (1999) mencionou que tal metodologia não existe em âmbito mundial, mas também não apenas no Brasil, sendo tema do Grupo de Trabalho Específico, criado pela Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem (ICID) para analisar o problema.

Os indicadores de desempenho, quando adequadamente escolhidos, demonstram, ao longo do tempo, os resultados do projeto e as modificações necessárias para o alcance das metas previstas.

O estudo de desempenho permitirá fazer comparações de como um sistema tem se comportado em relação a outros similares. Isso é uma importante ferramenta para produtores interessados em saber quando e quanto investir na agricultura irrigada. A avaliação comparativa fornecerá indicadores totais e onde melhorias podem ser feitas, em termos de manejo, infra-estrutura ou alocação de água, e permitirá salientar e entender os padrões relacionados a desempenho.

Considerando-se os aspectos apresentados, este trabalho teve por objetivos:

- Avaliar o desempenho de projetos de irrigação, de maneira global e quantitativa, em três perímetros de irrigação, visando à consolidação dos parâmetros selecionados e da metodologia em desenvolvimento.

- Verificar a possibilidade de reduzir ou ampliar o número de indicadores de desempenho propostos na literatura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O Brasil possui uma área irrigada de aproximadamente três milhões de hectares, totalizando 5% da área cultivada, que responde por 16% da produção total e 35% do valor dessa produção (SANTOS, 1998).

Um projeto governamental para o desenvolvimento de uma região visa ao aspecto social e é meta prioritária do governo que o implanta. Tecnicamente, há a preocupação com a produção, que está diretamente ligada à economia, uma vez que o que é produzido será convertido em receita. Portanto, nos projetos públicos de irrigação são importantes o seu planejamento, a sua implantação e a sua condução.

Vários fatores contribuem para o bom, ou mau, desempenho dos perímetros irrigados, quer sejam técnicos, econômicos ou sociais. Um dos aspectos primordiais na análise desses fatores é a possibilidade de monitorá-los, ou seja, transformá-los de alguma maneira em parâmetros mensuráveis. O nível desse monitoramento deverá estar entre o desejável e o viável, considerando-se, para isso, o padrão de avaliação a que se pretende proceder e os custos operacionais necessários à medição dos indicadores (BRITO, 1986).

O monitoramento desses parâmetros permite saber quando eles se aproximam de limites comprometedores, para que sejam sugeridas ou feitas intervenções para que os parâmetros de desempenho tenham valores dentro de

uma faixa compreendida por limites predeterminados. Estes limites ainda estão em fase de estudos, devido à inexistência de uma metodologia completamente desenvolvida.

Existem vários perímetros irrigados no Brasil, a maioria na área sob a jurisdição da SUDENE (Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste). De modo geral, esses perímetros foram implantados com recursos públicos, muitos deles operando com baixo desempenho, causando problemas de redução na produtividade das culturas, salinização dos solos e, conseqüentemente, abandono das áreas irrigadas pelos colonos.

A avaliação do desempenho é feita com os objetivos de avaliar a situação geral do projeto; comparar o desempenho de um projeto com outros ou com o mesmo ao longo do tempo; e avaliar seu progresso, em relação às metas, como parte do manejo integrado e para a melhoria operacional do sistema (MOLDEN et al., 1998).

2.1. Indicadores de desempenho

Existem diferentes parâmetros indicadores para avaliar o desempenho de sistemas de irrigação, entretanto não há metodologia para avaliação de um perímetro irrigado como um todo, levando-se em conta os aspectos técnicos de dimensionamento e manejo, econômicos, sociais e ambientais.

Em geral, os trabalhos encontrados na literatura tratam de cada indicador isoladamente. PALMER et al. (1991) realizaram um trabalho para estudar quanto um perímetro de irrigação era capaz de suprir a demanda de água do irrigante. Foram monitorados dois canais e comparadas as demandas de água com a solicitação e as tarifas da entrega. Detectado que os irrigantes estavam utilizando somente parte do que foi solicitado, puderam ser feitas modificações na política de entrega de água, para mais ou para menos, tanto em termos de vazão quanto de tempo.

RENAULT (1999) estudou três sistemas de irrigação diferentes em Sri Lanka e no Paquistão, com dois indicadores analíticos baseados nas propriedades

físicas das estruturas de entrega de água (variação da lâmina de água). As relações analíticas reduziram ao mínimo os dados normalmente coletados para avaliação de desempenho do sistema. As relações, em nível de sistema, entre os dados de saída (desempenho), os dados de entrada (controle) e as propriedades físicas (sensibilidade) levam a ligações estratégicas entre a operação do canal e o seu desempenho. Tais relações podem ajudar o irrigante a definir a precisão necessária para atingir os objetivos de desempenho e reduzir ao mínimo os dados para avaliação do mesmo.

KLOEZEN e GARCÉS-RESTREPO (1998) utilizaram alguns indicadores, tanto em distritos e módulos quanto em canais e parcelas selecionados, o que lhes permitiu conhecer melhor os processos e a dinâmica do manejo do sistema de irrigação.

Em um sistema de irrigação existem vários indicadores que, quando analisados em conjunto, tornam possível saber que parte do sistema deve ser modificada para melhorar o desempenho, porém os dados disponíveis para análises com parâmetros são escassos. BRITO (1986), analisando alguns perímetros irrigados, verificou a inexistência de uma metodologia eficaz de avaliação desses perímetros.

Na tentativa de gerar uma metodologia, BOS et al. (1993) apresentaram uma lista com 35 indicadores de desempenho que, na realidade, é muito extensa. Esses indicadores foram divididos da seguinte maneira:

a) Indicadores de balanço hídrico

- Desempenho da entrega de água;
- eficiência global ou do projeto;
- eficiência de condução;
- eficiência de distribuição;
- eficiência de aplicação na área;
- eficiência de aplicação na unidade terciária;
- confiabilidade do fornecimento; e
- regularidade das distribuições da água.

b) Sustentabilidade ambiental e drenagem

- Sustentabilidade da área irrigada;
- profundidade do lençol freático; e
- poluição da água:

- salinidade
 - mudança relativa da condutividade elétrica
 - razão do incremento da condutividade elétrica
- matéria orgânica
- poluição biológica
- poluição química

c) Indicadores de manutenção

- Manutenção geral;
- sustentabilidade da vazão-carga; e
- custo de manutenção:

- razão da manutenção da área
- razão da condução da vazão
- efetividade da infra-estrutura

d) Desempenhos econômico, social e ambiental

- Viabilidade econômica

Viabilidade econômica dos sistemas de irrigação:

- viabilidade financeira total
- auto-suficiência financeira
- desempenho do recolhimento de contas

Lucros da agricultura irrigada:

- razão produção custo da água
- razão produção fornecimento da água
- custo relativo da água

Viabilidade dos investimentos da irrigação:

- taxa interna econômica do retorno
- taxa interna financeira do retorno

e) Viabilidade social

- Geral;
- irrigação relacionada ao trabalho:

- geração de empregos
- geração de salários
- prosperidade relativa

- capacidade social:

- conhecimento tecnológico da equipe
- investimento dos usuários e sistema de irrigação

O ideal seria encontrar um número mínimo que pudesse refletir o desempenho de um perímetro irrigado. Em 1997, Bos determinou 21 indicadores como suficientes para a avaliação do desempenho de sistemas de irrigação e drenagem, relacionados nos tópicos subseqüentes.

2.2. Indicadores de balanço hídrico

Os indicadores de desempenho de balanço hídrico referem-se à avaliação da função do suprimento de água ao sistema de irrigação. Eles cobrem o componente volumétrico que está primariamente relacionado com o ajuste entre o suprimento de água e a demanda de irrigação, assim como o conceito, bem mais subjetivo, de confiabilidade, que pode afetar a capacidade do usuário em manejar a água eficientemente, e, ainda, os aspectos de cunho social de equidade. Esses três aspectos, juntos, representam as diferentes facetas do nível de serviço

que está sendo provido aos usuários da água. Dentre esses indicadores, destacam-se:

2.2.1. Desempenho do sistema de distribuição

O desempenho do sistema de distribuição (D_s) é a razão entre o volume de água derivado para as parcelas (VADP) e o volume de água derivado para o sistema (VADS), representada por

$$D_s = \frac{VADP}{VADS} \quad (1)$$

Essa medida permite ao gerente do perímetro verificar quanto é fornecido de água durante determinado tempo, para qualquer parte do sistema, e avaliar se a vazão, em qualquer local dentro do sistema, é maior ou menor do que a pretendida.

2.2.2. Razão de balanço hídrico

Esta razão está mais relacionada ao volume de água fornecido dentro de certo período de tempo (por exemplo, $m^3 \text{ período}^{-1}$) do que a vazão instantânea ($m^3 \text{ s}^{-1}$). As razões quantificam as proporções entre os componentes de balanço da água em um contexto espacial sobre um período de tempo específico.

2.2.3. Razão de aplicação no campo

É dada pelo volume necessário para suprir os requerimentos de água no período de crescimento da cultura (V_m) sobre o volume de água aplicado naquele período (V_d). Na prática, é a razão entre o valor ($ET_p - P_e$) e o volume de água derivado do sistema de distribuição para o campo/parcela, ou seja:

$$RAC = \frac{V_m}{V_d} \quad (2)$$

ou

$$RAC = \frac{ET_p - P_e}{V_d} \quad (3)$$

em que

ET_p = evapotranspiração potencial da cultura; e

P_e = precipitação efetiva.

2.2.4. Razão da unidade terciária

A água necessária para a unidade terciária depende da necessidade de água da cultura, das perdas por infiltração e vazamentos no canal ou razão de condução e do valor médio da razão de aplicação no campo. A razão da unidade terciária (RUT) é calculada por

$$RUT = \frac{V_m + V_3}{V_d} \quad (4)$$

em que V_3 são as perdas ocorridas por infiltração ou vazamentos nos canais.

2.2.5. Razão global de consumo

É a razão entre o somatório da evapotranspiração das culturas menos a precipitação efetiva ($ET_p - P_e$) para o perímetro e o volume de água captado do rio ou reservatório. A razão global de consumo (RGC) quantifica a fração da água evapotranspirada pelas culturas no balanço hídrico da área irrigada, constituindo-se em um dos principais indicadores que devem ser determinados para cada área irrigada. A RGC é calculada por

$$RGC = \frac{(ET_p - P_e)}{V_f + V_1} A = \frac{(ET_p - P_e)}{V_f} A \quad (5)$$

em que

V_f = volume de água bombeada do rio ou reservatório;

V_1 = outras fontes de entrada para o sistema de condução (escoamento superficial, infiltração lateral); e

A = área total considerada, ha.

Nas situações em que não ocorrem V_1 , o mesmo é considerado igual a zero.

2.2.6. Razão de condução

Quantifica o balanço de água dos canais principal, secundário e terciário do sistema. Pode ser calculada para períodos curtos (semana, mês) ou longos (estação). A razão de condução (RC) é calculada por

$$RC = \frac{V_d + V_2}{V_f + V_1} \quad (6)$$

em que V_2 é o volume de entregas do sistema de distribuição sem objetivo de irrigação.

2.2.7. Razão de suprimento

$$R_d = \frac{V_d}{V_f} \quad (7)$$

A R_d estima como está sendo feita a distribuição de água no sistema (inclusive secundárias e terciárias) até o início das áreas irrigadas.

2.2.8. Grau de confiabilidade do sistema de irrigação

O padrão em que a água é distribuída ao longo do tempo é diretamente relacionado com a RGC e, portanto, tem impacto direto na produção das culturas.

A base desse raciocínio é que os usuários podem aplicar mais água se houver variação imprevisível no volume ou tempo de entrega e não usar outros insumos, como fertilizantes, em quantidades ótimas, se estiverem mais preocupados com a sobrevivência das culturas do que com a produtividade.

Os principais indicadores propostos para analisar a confiabilidade do sistema de fornecimento de água estão associados com a duração efetiva do fornecimento e o intervalo (ou frequência) de tempo entre fornecimentos, comparados com aqueles projetados. São calculados por

$$CD = \frac{DRDA}{DPEA} \quad (8)$$

$$CI = \frac{II}{IP} \quad (9)$$

em que

CD = confiabilidade da duração da distribuição;

DRDA = duração real da distribuição da água;

DPDA = duração pretendida da distribuição da água;

CI = confiabilidade do intervalo de irrigação;

II = intervalo da irrigação; e

IP = intervalo pretendido.

O período em que as observações são comparadas varia em função do padrão de fornecimento adotado. Recomenda-se que a vazão ou o nível de água do canal sejam incluídos nesta parte da avaliação.

2.3. Sustentabilidade ambiental e drenagem

2.3.1. Sustentabilidade da área irrigada

A sustentabilidade da área irrigada (SAI), que representa a taxa de ocupação do projeto, é a razão entre a área irrigada atual e a área total irrigável, calculada por

$$SAI = \frac{AIA}{ATI} \quad (10)$$

em que

AIA = área irrigada atual; e

ATI = área total irrigável.

Este parâmetro diz respeito a aspectos da sustentabilidade física que podem ser afetados pelo manejo da irrigação e estão relacionados, principalmente, ao fornecimento da água e ao aproveitamento total ou parcial da área operacional do perímetro.

A definição da área de cada lote num perímetro irrigado é feita com base em critérios preestabelecidos, e todas as previsões adotadas no planejamento do projeto consideram a utilização de toda a área implantada. Conseqüentemente, a ocupação ou operação parcial da área pelos usuários significa ociosidade na capacidade produtiva, seja por dificuldades encontradas, seja por falta de motivação suficiente. Qualquer que seja a causa, ela prejudica o bom desempenho do projeto e precisa ser medida e analisada (BRITO, 1986).

É necessário saber se houve abandono da área e qual o motivo que levou a isso: salinização, deficiência de água, baixo rendimento da agricultura, ou se foi devido aos desenvolvimentos industrial e urbano.

2.3.2. Profundidade do lençol freático

Segundo AYERS e WESTCOT (1985), muitos dos problemas de salinidade estão associados à presença de nível freático a pouca profundidade (nos primeiros dois metros da superfície). Os sais acumulados no lençol freático ascendem acima da zona radicular e constituem importante fonte adicional de sais. Devido a isso, o controle do nível freático é prática essencial para controlar a salinidade e manter com êxito a agricultura irrigada.

Para BOS et al. (1997), muitos dos impactos ambientais adversos à irrigação estão relacionados à mudança da profundidade do lençol freático, ocorrida por uma drenagem ineficaz ou por um fornecimento excessivo da água para irrigação.

Em áreas irrigadas situadas em regiões áridas e semi-áridas, nas quais a água do lençol freático é, geralmente, salina, é necessário minimizar a ascensão capilar para evitar a salinização. No lençol freático, se for economicamente viável e a topografia da área permitir, quanto mais profundo ele for, melhor. Nesse caso, a profundidade de 1,5 m é considerada mínima (FERREIRA, 1999). De acordo com esse autor, a profundidade à qual o solo deve ser drenado não é aquela que resulta em máxima produtividade da cultura, mas sim aquela que resulta na melhor relação benefício/custo.

A profundidade relativa do lençol freático (PRLF) é a razão entre a profundidade atual do lençol freático (PALF) e a profundidade crítica para prevenir salinização (PCLF), calculada por

$$PRLF = \frac{PALF}{PCLF} \quad (11)$$

2.3.3. Poluição da água

Dentro do contexto de irrigação, faz-se distinção entre o consumo e o uso da água. A água consumida pela cultura não poderá ser reutilizada em outra parte

do sistema, mas o excesso de água aplicada poderá ser reutilizado em outra parte do sistema ou em outros sistemas; logo, deve-se quantificar o efeito das atividades do irrigante na qualidade da água. Para tanto, recomenda-se que sejam monitorados poluentes cujas concentrações possam ser determinadas com baixo custo, e assume-se que, se nenhum desses indicadores possui valor próximo ao nível crítico, eles não causarão problemas.

2.3.4. Salinidade

O problema de salinidade é muito sério, e seu controle tem como objetivo manter a produtividade em níveis aceitáveis.

Quando os teores de sais na solução do solo são elevados, a extração de água pelas raízes reduz muito, reduzindo também o crescimento das plantas, que apresentam sintomas como aqueles provocados pela estiagem, como murchamento ou coloração verde-azulado-escura.

A principal causa da salinização em regiões áridas e semi-áridas, além de estar diretamente relacionada com a qualidade da água usada na irrigação, é devida à baixa eficiência da irrigação associada à falta de drenagem natural. Isso tem causado rápida ascensão do lençol freático, que, juntamente com a grande demanda evapotranspirométrica das regiões, propicia um fluxo ascendente a partir do lençol freático e, conseqüentemente, maior concentração de sais à medida que se aproxima da superfície do solo. A produção vegetal decresce linearmente com o aumento da salinidade do solo a partir de determinado nível de salinidade. Como os problemas de salinidade são acumulativos, se as causas que estão provocando o aumento da salinidade do solo, em determinado projeto, não forem diagnosticadas e corrigidas a tempo, a sua produção vegetal decrescerá rapidamente até se chegar ao ponto de a sua exploração agrícola não ser mais economicamente viável. Para torná-la viável, haverá necessidade de se fazer a recuperação do solo, ou seja, lixiviar o excesso de sais. Porém, o custo da recuperação de um projeto será sempre muito maior do que o custo para evitar a sua salinização (BERNARDO, 1995).

A qualidade da água subterrânea tende a piorar com a lixiviação de sais e fertilizantes da rizosfera e ao uso e reúso da água de drenagem. A qualidade da água de irrigação pode variar significativamente, segundo o tipo e a quantidade de sais dissolvidos. Os sais encontram-se em quantidades relativamente pequenas, porém significativas, e têm sua origem na dissolução lenta do calcário, do gesso e de outros minerais sendo transportados pelas águas de irrigação e depositados no solo, onde se acumulam à medida que a água se evapora, ou é consumida pelas plantas (AYERS e WESTCOT, 1985).

O parâmetro utilizado para monitorar a salinidade dentro das áreas irrigadas é a condutividade elétrica (CE). De acordo com AYERS e WESTCOT (1985), o valor normal da condutividade elétrica da água de irrigação varia entre 0 e 3 dS/m, e na condutividade elétrica da água do estrato saturado esse valor é igual a 1,5 vez o valor da de irrigação, ou seja, 4,5 dS/m, considerando-se uma fração de lixiviação de 15 a 20%.

A condutividade elétrica relativa (CER) é a razão entre a condutividade elétrica atual da água do solo (CEA) e a condutividade elétrica crítica (CEC) da (s) cultura (s), para prevenir queda de produtividade, representada por

$$CER = \frac{CEA}{CEC} \quad (12)$$

O intervalo entre as medidas dependerá do que se deseja no estudo. Por exemplo, leituras mensais avaliam tendências sazonais, e leituras anuais apontam tendências de médio e longo prazos.

2.3.5. Matéria orgânica (MO)

A quantidade de matéria orgânica resultante da queda de folhas, da vegetação e de entulhos ao longo do canal pode trazer problemas para o sistema de condução e deve ser monitorada. Para determinar a MO, recomenda-se medir a MO total dissolvida (% vol), a matéria flutuante, a cor e o cheiro. Uma razão equivalente, como a da CER, também pode ser usada para quantificar a MO.

2.3.6. Poluição biológica

A maior fonte de poluição biológica são as águas de esgotos urbanos e industriais que podem escoar nos canais. Para quantificá-la, recomenda-se medir a DBO (mg L^{-1}) e a DQO (m L^{-1}). Uma razão equivalente, como a da CER, também pode ser usada para quantificar a poluição biológica.

2.3.7. Poluição química

As fontes de poluição química podem ser devidas à água de esgotos urbanos e industriais que escoam pelos canais ou a pesticidas e fertilizantes lixiviados da rizosfera. Recomenda-se que sejam medidas as concentrações de nitrato ($\text{NO}_3^{-1} \text{ meq L}^{-1}$) e de fósforo (P meq L^{-1}). Uma razão equivalente, como a da CER, também pode ser usada para quantificar a poluição química.

2.4. Indicadores de manutenção

2.4.1. Manutenção geral

A manutenção tem três propósitos principais: (i) dar segurança, mantendo os canais em boas condições para minimizar as perdas por infiltração; (ii) manter o nível de água do canal e planejar a relação vazão-carga; e (iii) manter a infraestrutura em condições de trabalho. Em sistemas de irrigação, a razão de condução é o parâmetro que melhor reflete as condições de dimensionamento e manutenção dos canais.

2.4.2. Sustentabilidade do nível da água e relação vazão-carga

O projeto de um canal é feito para determinada vazão que está relacionada a certo nível d'água. O desempenho hidráulico reflete quanto esses valores de projeto são alcançados. A alteração da distribuição d'água devido à variação de

nível no canal depende do efeito dessa variação nas estruturas, portanto são os principais responsáveis pelo sistema em atender ou não às condições de projeto. Essa mudança de nível da água, além da estrutura do canal, é o fator mais importante de rompimento do fornecimento de água desejado.

2.5. Desempenho socioeconômico

2.5.1. Viabilidade econômica

Cada parte envolvida (irrigantes, projetistas e outros) tem uma perspectiva diferente do que representa o desempenho econômico. Assim, cada uma exige um conjunto separado de indicadores que refletem esses diferentes objetivos.

2.5.2. Viabilidade financeira dos sistemas de irrigação

A principal preocupação quando se implanta um projeto de irrigação é o aumento da renda do irrigante; logo, surge a necessidade de indicadores que reflitam os custos de manejo, de operação e de manutenção e alguns, ou todos, os custos capitais dos sistemas de irrigação individuais. Para quantificar a eficácia do sistema com relação ao fornecimento real de água e da manutenção dos canais (ou linhas laterais) e às estruturas, usa-se a fração de operação e manutenção (FOM), que é a razão entre o custo anual de operação e manutenção (CAOM) e o orçamento total anual do perímetro (OTAP), representada por

$$FOM = \frac{CAOM}{OTAP} \quad (13)$$

2.5.3. Lucros da agricultura irrigada

Independentemente da viabilidade econômica de um investimento particular, ou da habilidade das agências fornecedoras de água, os irrigantes

devem, principalmente, estar interessados nos ganhos de suas ações em nível de sua propriedade. Podem ser feitas análises que possibilitem verificar retornos negativos por setor, ou análises de nível econômico do sistema, através do elevado custo de capital, e ainda encontrar irrigantes com lucros consistentes. Existem dois indicadores que englobam diferentes aspectos: lucros em termos de área irrigada e lucros em termos de entrega de água. A razão produtividade *versus* suprimento de água (RPSA) é calculada através da equação

$$RPSA = \frac{MP}{VADP} \quad (14)$$

em que

MP = massa do produto; e

VADP = volume de água derivado para a parcela.

Este indicador é a razão entre a massa de produto (cultura comercializável) e o volume de água derivado para a parcela. Por ter pouco significado prático, a equação anterior pode ser substituída pela razão produtividade *versus* custo da água (RPCA), que necessita de avaliação da produção com irrigação. Para cálculo desse indicador, usa-se a equação

$$RPCA = \frac{VP}{CAP} \quad (15)$$

em que

VP = valor da produção; e

CAP = custo da água aplicada.

2.5.4. Capacidade social

Refere-se à capacidade social das pessoas e organizações para o manejo e a sustentabilidade dos sistemas da agricultura irrigada.

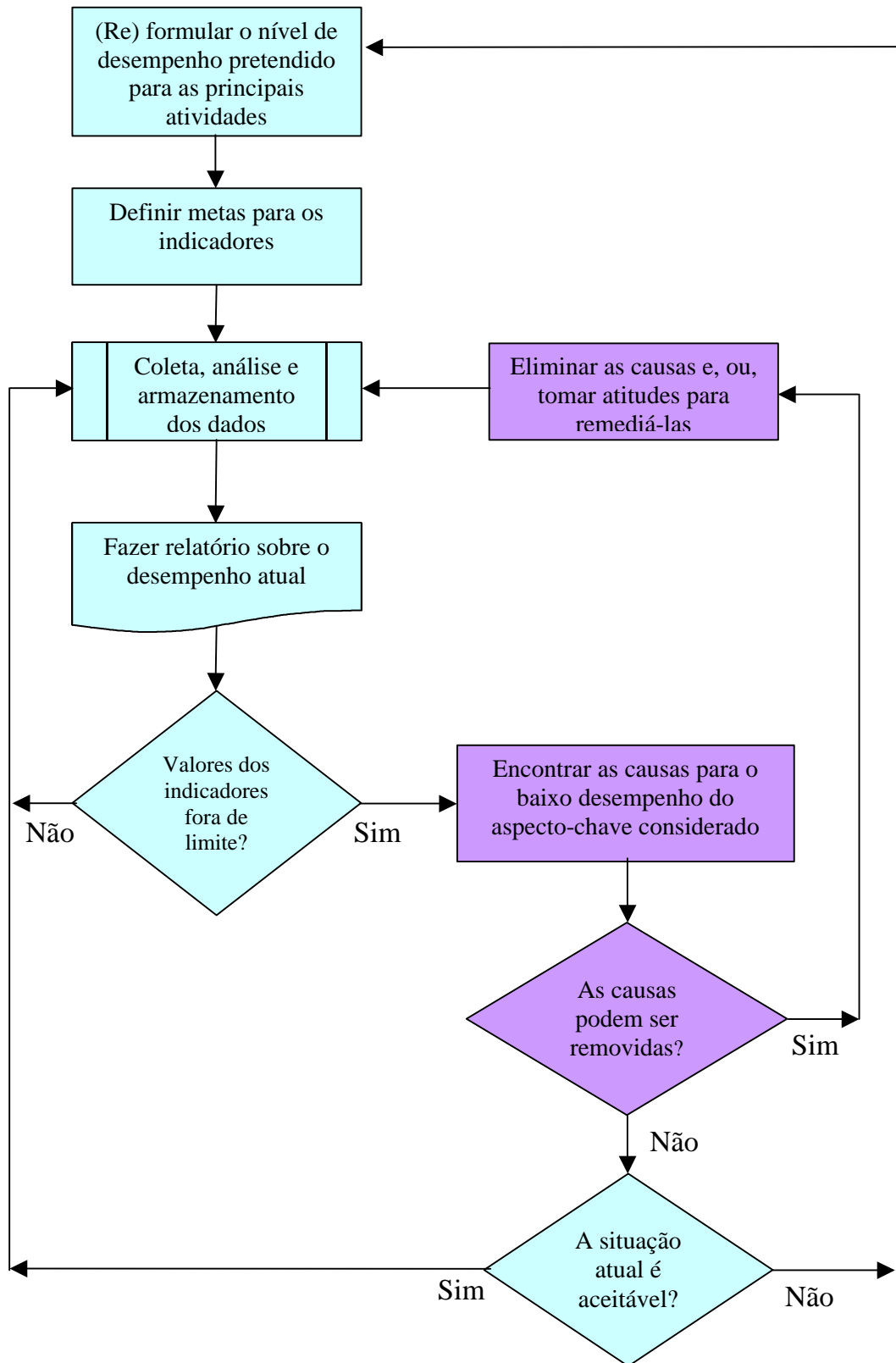
Normalmente, do ponto de vista da prática de gestão de perímetros, não é recomendado o uso de todos os indicadores propostos por requerer a obtenção de grande volume de informações que inviabilizam o aspecto gerencial. O número a ser usado é determinado de acordo com o nível de detalhe com que se deseja quantificar o desempenho e com o rigor com que se observam a irrigação e a drenagem. Pesquisadores tendem a avaliar o desempenho de forma bastante detalhada. Dependendo das disciplinas envolvidas, o grupo completo de indicadores poderá ser utilizado. O custo da coleta e manuseio de todos os dados relacionados, entretanto, não é justificado para o manejo do sistema diariamente. Assim, de acordo com o Grupo de Trabalho da ICID, sugere-se um "conjunto mínimo" de indicadores para servir como ponto de partida para avaliação de desempenho das irrigações (BOS, 1997). Dependendo das condições locais, esse "conjunto mínimo" pode ser ampliado com indicadores que sejam considerados relevantes.

Na figura 1, apresenta-se a inter-relação entre as atividades estratégicas e operacionais de gerenciamento e de diagnóstico.

As partes do fluxograma de coloração azul indicam atividades estratégicas e operacionais de gerenciamento e as de coloração rosada, atividades de diagnóstico.

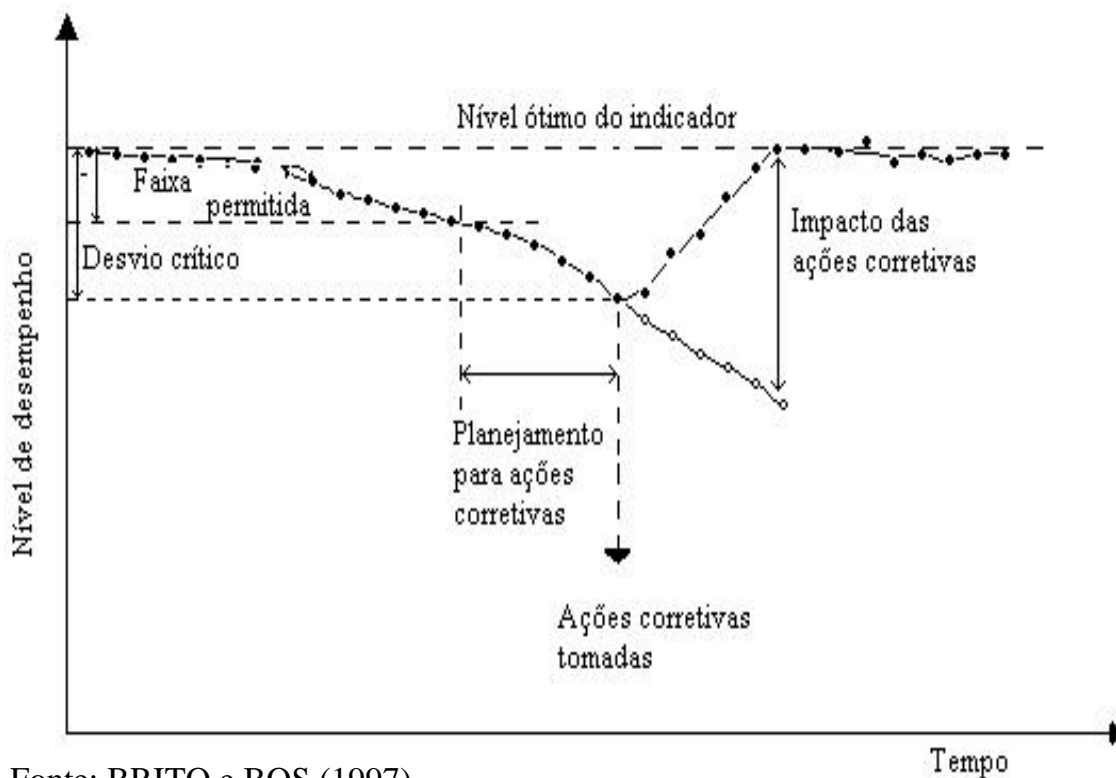
O verdadeiro indicador inclui um valor real e um valor planejado, que permite avaliar a divergência ou convergência entre ambos. Essas informações permitirão determinar se a divergência é aceitável. É importante assegurar que os indicadores selecionados descreverão o desempenho de acordo com os objetivos estabelecidos para aquele sistema. Para tanto, é importante o uso do mesmo indicador ao longo do tempo, pois ele ajuda a identificar as tendências que precisam ser revistas, antes que medidas reparadoras se tornem caras ou complexas.

Na Figura 2, exemplifica-se a avaliação da tendência de um indicador ao longo do tempo (BRITO e BOS, 1997). A flutuação do indicador dentro da faixa permitida significa que ações corretivas não são necessárias. Se o indicador sair dessa faixa, devem ser tomadas medidas corretivas antes que o valor do indicador atinja o nível crítico. A amplitude dessa faixa dependerá do indicador considerado e das condições locais.



Fonte: adaptado de BOS (2001)

Figura 1 – Inter-relação esquemática entre atividades estratégicas e operacionais de gerenciamento e diagnóstico.



Fonte: BRITO e BOS (1997)

Figura 2 – Avaliação do desempenho ao longo do tempo.

2.6. Limitações dos indicadores

Para MOLDEN et al. (1998), a incerteza envolvida na estimativa e nas fontes de dados para calcular os indicadores dificulta a utilização destes. Como muitos dos dados podem ser provenientes de fontes secundárias, coletados por terceiros e não medidos diretamente pelos pesquisadores, isso causa ampla variedade na qualidade dos dados obtidos.

A maneira de estimar os dados também pode levar a erros. Existe grande incerteza na estimativa da evapotranspiração e da precipitação efetiva relacionada à metodologia utilizada.

Muitos métodos existem para estimar a precipitação efetiva, e seus resultados são diferentes. Sabe-se que as diferenças nas características físicas do solo e de manejo das áreas irrigadas têm papel importante na determinação da chuva efetiva.

Como a precipitação efetiva, mas em menor proporção, estimativas de ET_p estão sujeitas a incertezas. Em uma escala regional, com variação de solos, entrega de água e práticas do agricultor, é difícil obter uma estimativa confiável. É mais difícil ter uma boa estimativa da ET_p quando há "deficit" de irrigação ou a cultura está sob estresse (MOLDEN et al., 1998).

O conhecimento do consumo de água nos diversos períodos ou etapas de desenvolvimento das plantas cultivadas permite a administração de uma irrigação mais racional e efetiva, de acordo com a exigência da cultura (BERLATO e MOLION, 1981).

A evapotranspiração pode ser afetada por vários fatores, sendo o clima o mais importante. As condições de solo, doenças e pragas, a própria cultura e suas características de crescimento, além de práticas agrícolas como métodos de irrigação e práticas culturais, influenciam a transferência de água para a atmosfera (DOORENBOS e PRUITT, 1984; KLAR, 1984).

Existem muitos métodos para determinação da evapotranspiração das culturas, sendo comum usar-se dados climáticos para estimá-la. Porém, devido às mudanças no tempo e às características inerentes a cada cultura, tanto a evaporação como a transpiração (ou ambas) podem variar de ano para ano e a cada período do ano.

De ano para ano, os valores mensais das evapotranspirações apresentam grandes variações, podendo variar em mais de 50% (DOORENBOS e PRUITT 1984; PREVEDELLO, 1996).

Os valores diários podem variar drasticamente, com baixos valores em dias em que houver chuva, estiverem nublados e úmidos e elevados valores em dias secos, ensolarados e com muito vento. DENMEAD e SHAW (1962), por exemplo, observaram taxas de transpiração em cultura de milho variando de $1,4 \text{ mm d}^{-1}$ em dias nublados até $6,4 \text{ mm d}^{-1}$ em dias ensolarados.

A evapotranspiração é pouco afetada pela irrigação se os sistemas forem projetados, instalados e operados apropriadamente. Os diferentes métodos implicam diferentes taxas de aplicação de água. Quando comparados em termos de eficiência de demanda de água, encontram-se algumas diferenças nesses

métodos, e a aparente superioridade de um método sobre o outro pode ser um mero resultado de mais ou menos água aplicada. Isso pode não ser falha do método de irrigação e sim no seu manejo (DOORENBOS e PRUITT, 1984).

O efeito da população de plantas, ou a densidade de plantas na evapotranspiração, é similar àquela da cobertura do solo. Quando a superfície do solo se mantém relativamente seca, a sua evaporação é abruptamente reduzida, e a evapotranspiração será menor em baixas populações do que em elevadas populações vegetais. Durante os estágios iniciais da cultura, uma população elevada pode, normalmente, requerer mais água do que uma baixa população, devido ao rápido desenvolvimento da cobertura do solo. A presença de vegetação produz sombreamento no solo, diminuindo a temperatura e a incidência de ventos e podendo aumentar a umidade relativa do ar próxima do solo.

Nas irrigações, a densidade de plantas tem sido considerada de pequena importância, em termos de necessidade total de água (DOORENBOS e PRUITT, 1984; KLAR, 1984).

O efeito da evapotranspiração na água contida no solo varia de acordo com a cultura e é condicionado, primariamente, pelas propriedades hidráulicas do solo, pelas características radiculares da cultura e por fatores meteorológicos. Sob moderadas demandas evaporativas, a evapotranspiração não excede a 5 mm d^{-1} para a maioria das culturas, a evapotranspiração é pouco afetada para tensões de água no solo até uma atmosfera (correspondendo aproximadamente a 30% do volume disponível da água do solo, 40% para solo franco, 50% para franco-arenoso e 60% para areia franca). Quando as demandas evaporativas são baixas, a cultura pode transpirar e prever a taxa de evapotranspiração, mesmo que a depleção da água disponível seja maior. Quando as demandas evaporativas são altas, a evapotranspiração da cultura será reduzida se a taxa de água, que supre as raízes, for incapaz de cobrir as perdas por transpiração. Isso será mais pronunciado em solos de textura pesada do que em de textura leve. Reduções na evapotranspiração afetam o crescimento e, ou, a produção da cultura; cadência e magnitude da redução na evapotranspiração da cultura são critérios importantes para práticas de irrigação (DOORENBOS e PRUITT, 1984; KLAR, 1984).

Vários pesquisadores têm empregado as técnicas de sistemas de informações geográficas (SIG) como ferramenta para regionalização da evapotranspiração e da demanda de irrigação pelas culturas. HASHMI et al. (1995) empregaram técnicas de interpolação disponíveis em um sistema de informações geográficas a partir de mapas climáticos pontuais e de uso do solo, agregando parâmetros de solo e topografia para estimar a evapotranspiração regional da bacia do “Cache la Poudre”, no Colorado, Estados Unidos. BELTRAME et al. (1994) estimaram, para o Rio Grande do Sul, as isolinhas de evapotranspiração calculadas pela equação de Penman-Monteith, utilizando 34 estações meteorológicas distribuídas por aquele estado. CARVALHO et al. (1998) espacializaram na bacia do rio Verde Grande, localizado na região norte do Estado de Minas Gerais, para duas épocas de plantio, a demanda máxima de irrigação suplementar e a duração do ciclo para a cultura do milho. Já FARIA (1998) espacializou a demanda máxima diária de irrigação necessária para a cultura do milho no Estado de Minas Gerais, considerando ou não a precipitação dependente para solos de diferentes texturas.

2.7. O programa RPIP

Com a iniciativa da Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem (ICID), surgiu um programa de pesquisa sobre desempenho da irrigação e drenagem. Dessa idéia nasceu o Programa de Pesquisa sobre Desempenho de Irrigação - RPIP (“Research Program on Irrigation Performance”), com a função de desenvolver uma metodologia para avaliação de perímetros irrigados. Para tal, foi necessário definir indicadores, testá-los, selecioná-los e, então, compor procedimentos metodológicos e quantitativos para serem utilizados.

Dos 21 indicadores potenciais apresentados por BOS (1997), ele sugeriu um grupo de nove parâmetros para compor um “conjunto mínimo” de indicadores, os quais serviram de ponto de partida para o início da coleta de dados. Os parâmetros escolhidos foram Razão Global de Consumo (RGC), Razão de Aplicação no Campo (RAC), "Performance" da Entrega de Água (PEA),

Sustentabilidade da Área Irrigada (SAI), Condutividade Elétrica Relativa (CER), Profundidade Relativa do Lençol Freático (PRLF), Taxa de Inadimplência da Tarifa de Água (TInTA), Fração de Operação e Manutenção (FOM), Razão Produtividade *versus* Suprimento de Água (RPSA).

No Quadro 1, apresentam-se o conjunto mínimo de indicadores selecionados, as fórmulas e os dados necessários para calcular cada um deles.

Os indicadores são capazes de apontar grandes diferenças no desempenho relacionadas a terra, água e produção. É possível relacionar o desempenho a aspectos-chave dos sistemas de irrigação: infra-estrutura (fixas, flexíveis), manejo (distrito, usuários), alocação e procedimentos de distribuição (demanda *versus* fornecimento), clima (seco, úmido) e conjunto socioeconômico.

RYMSHAW (1998) analisou sete indicadores nos distritos de irrigação do Bajo Río Bravo e Bajo Río San Juan, no Estado de Tamaulipa, noroeste do México, com os objetivos de analisar o desempenho dentro de cada distrito, comparar o desempenho de distritos adjacentes e coletar dados para, futuramente, comparar o desempenho entre diversas áreas do México. Os indicadores também ajudam a identificar estratégias de manejo nos sistemas e avaliá-los nos anos de grande estiagem. Apesar de os dois distritos apresentarem condições físicas e climáticas similares, houve diferenças, em longo prazo, quanto ao comportamento dos indicadores.

Além de mostrar as relações e as tendências, os indicadores ajudam a identificar situações em que são necessários estudos mais detalhados. Eles também permitem a comparação de países e regiões entre diferentes tipos de infra-estrutura e manejo e através de diferentes ambientes, para avaliação de tendências no desempenho de um projeto específico ao longo do tempo (MOLDEN et al., 1998).

Embora a avaliação do desempenho da irrigação seja importante para os gerentes de projetos de irrigação, ela tem sido negligenciada por aqueles que alocam fundos públicos para irrigação e para os pesquisadores. Ao mesmo tempo, a multiplicidade de tentativas para avaliar o desempenho tornou-se uma tarefa confusa e difícil (SMALL e SVENDSEN, 1992).

Quadro 1 – Número mínimo de indicadores, fórmulas e dados necessários para o cálculo dos mesmos

Indicadores	Fórmula	Dados Necessários
De Balanço Hídrico		
Razão Global de Consumo (RGC)	$= \frac{ET_p - P_e}{V_f} A$	Precipitação; temperaturas médias; velocidade do vento; umidade relativa; horas de insolação → ET_p da cultura; P_e (CROPWAT (FAO, 1997), CRIWAR (ILRI, 1996), SISDA (UFV, 1997)); vazão das bombas; horas de bombeamento
Razão de Suprimento (R_d)	$= \frac{V_d}{V_f}$	Volume de água em nível de parcela → vazão das bombas; horas de bombeamento
Desempenho do Sistema de Distribuição (D_s)	$= \frac{VADP}{VADS}$	Volume de água para o sistema → vazão das bombas; horas de bombeamento
Ambientais e de Sustentabilidade		
Sustentabilidade da Área Irrigada (SAI)	$= \frac{AIA}{ATI}$	Área total irrigável; área irrigada atualmente
Profundidade Relativa do LF (PRLF)	$= \frac{PALF}{PRLF}$	Profundidade atual do LF (poços de observação)
Condutividade Elétrica Relativa (CER)	$= \frac{CE \text{ atual}}{CE \text{ crítica}}$	CE da água do solo em até 0,5 m; valor da CE crítica das culturas
Econômicos e Sociais		
Taxa de Inadimplência da Tarifa de Água (TInTA)		Tarifas de água; montante total de tarifas devidas e recebidas
Fração de O & M	$= \frac{CAOM}{OTAP}$	Custo anual de O & M; orçamento total anual do perímetro
Razão Produtividade <i>versus</i> Suprimento de Água (RPSA)	$= \frac{\text{massa do produto}}{VAF}$	Produção; volume de água fornecido para a parcela

Fonte: adaptado de BRITO e BOS (1997).

Considerando a tentativa de melhoria do nível atual de desempenho da irrigação e drenagem, espera-se um espaço considerável para melhorias, uma vez que a contribuição da agricultura irrigada na produção mundial pode aumentar. No manual orientador “Guidelines for Performance Assessment of Irrigation and Drainage (2000, no prelo)”, chama-se a atenção para quatro grandes possíveis restrições no processo da produção agrícola irrigada – terra, água, fundos e qualificação de recursos humanos –, a seguir discriminados:

- Terra: é uma restrição tradicional. O avanço do desenvolvimento urbano sobre as áreas agrícolas diminui a área disponível para plantio, tornando-se necessário maximizar a produtividade.

- Água: é sempre a restrição mais importante. Para 10% da população mundial, em países áridos e semi-áridos, o volume anual disponível de água está abaixo do nível crítico de 1.700 m^3 "per capita". Nessas áreas, a produção das culturas, em kg m^{-3} , torna-se muito importante. O que mais chama a atenção é que cerca de 49% da população mundial passará pelo limite de escassez de água antes de 2025.

- Fundos: são essenciais para o manejo efetivo de projetos de irrigação e drenagem. O governo tende a transferir a responsabilidade do manejo dos projetos (inclusive operação e manutenção) para os próprios beneficiários. Essa nova responsabilidade incluirá a coleta de fundos através da cobrança de água. A falta de fundos para a manutenção normalmente leva à deterioração da infraestrutura.

- Qualificação de recursos humanos: é necessária para que haja transferência de responsabilidades da equipe para o projeto e para a introdução de novos conceitos e tecnologia. Entretanto, surpreendentemente, a maioria dos países que dependem amplamente da irrigação não oferece treinamento especializado em irrigação e drenagem, nem em nível de graduação nem em nível médio ou baixo. Como resultado disso tudo, o nível de apoio utilizado na irrigação é o tradicional.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição das áreas de estudo

Selecionaram-se três perímetros irrigados para este estudo: Jaíba (Jaíba-MG), Senador Nilo Coelho (Petrolina-PE) e Paracatu/Entre Ribeiros (Paracatu-MG), ressaltando-se que, em cada perímetro, foram selecionadas áreas representativas (lotes) para o acompanhamento e a coleta dos dados.

3.1.1. Perímetro irrigado do Jaíba (DIJ)

O perímetro irrigado do Jaíba (DIJ) localiza-se no norte de Minas Gerais (Figura 3), abrangendo uma área de 100.000 ha. A sua implantação foi programada em quatro etapas.

A área irrigada do projeto prevista é de 75.300 ha. A primeira etapa foi iniciada na década de 70, estando, atualmente, em sua fase final de implantação, com uma área de 25.195 há, dividida nas seguintes glebas: A, B, C1, C2, C3, C4, D, E, F e 4. As glebas C1, C4, 4 e parte da gleba E (395 ha), num total de 7.285 ha, foram planejadas para agricultura de sequeiro, ou seja, não serão irrigadas.

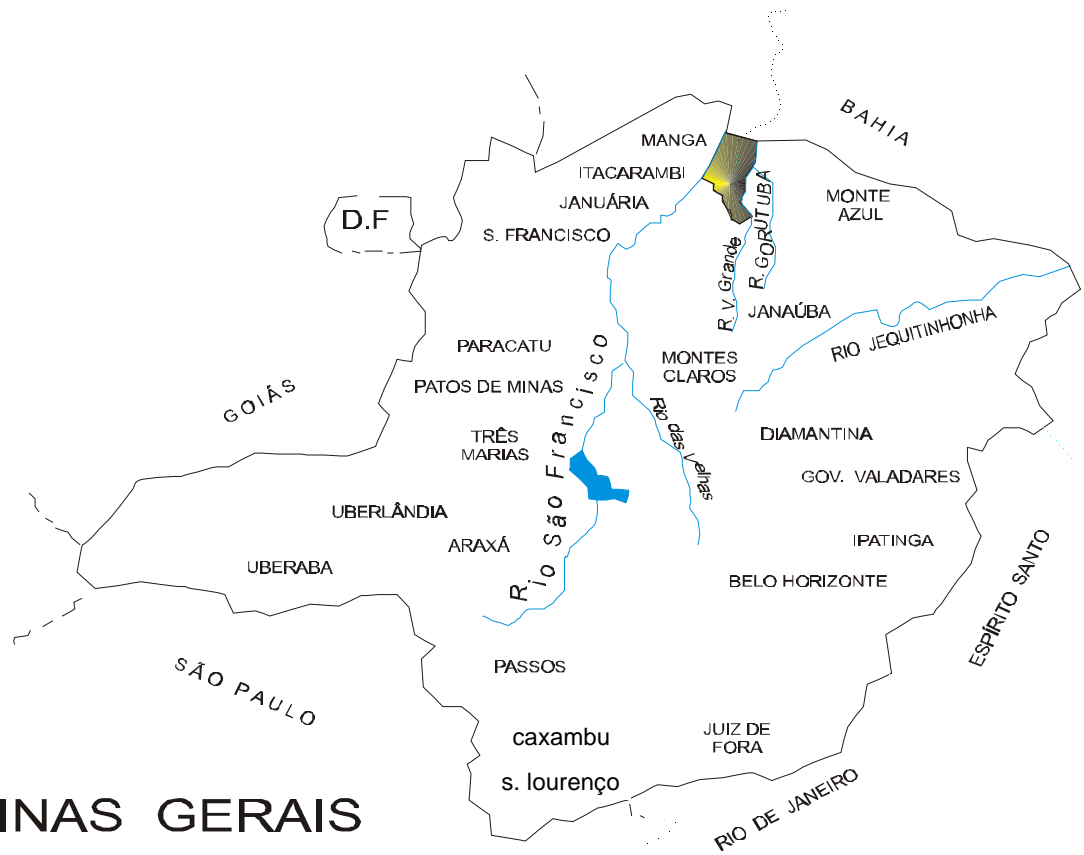
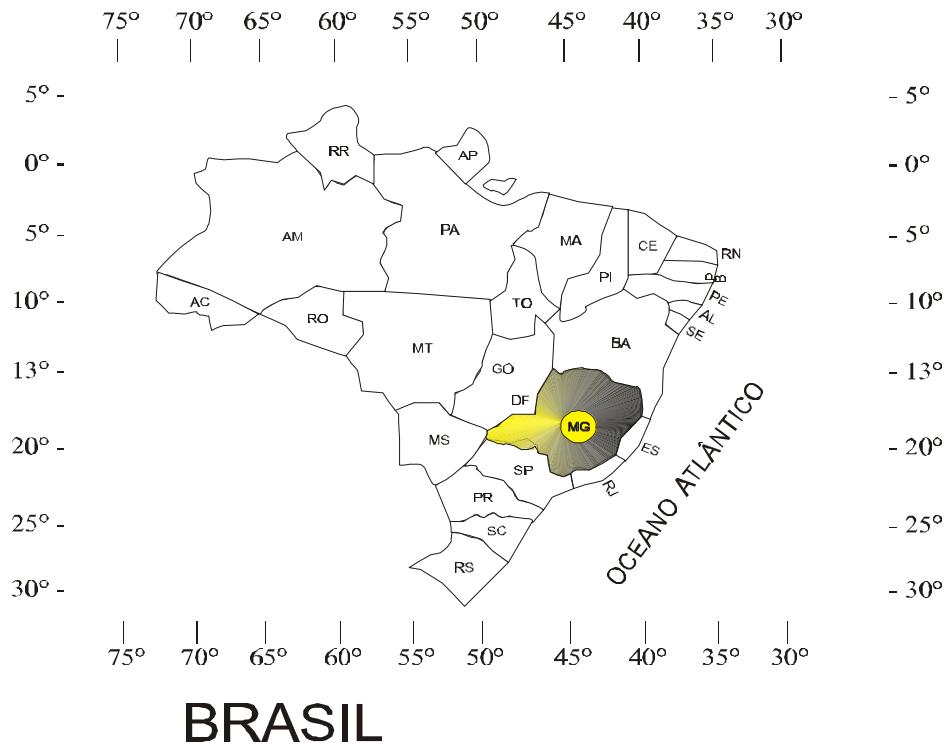


Figura 3 – Localização do Projeto Jaíba.

Os dados para esse projeto foram coletados e processados por CARVALHO F^o (2000). As áreas trabalhadas foram as glebas dos colonos (A, B, C3, D e F), por representarem as condições médias do perímetro irrigado.

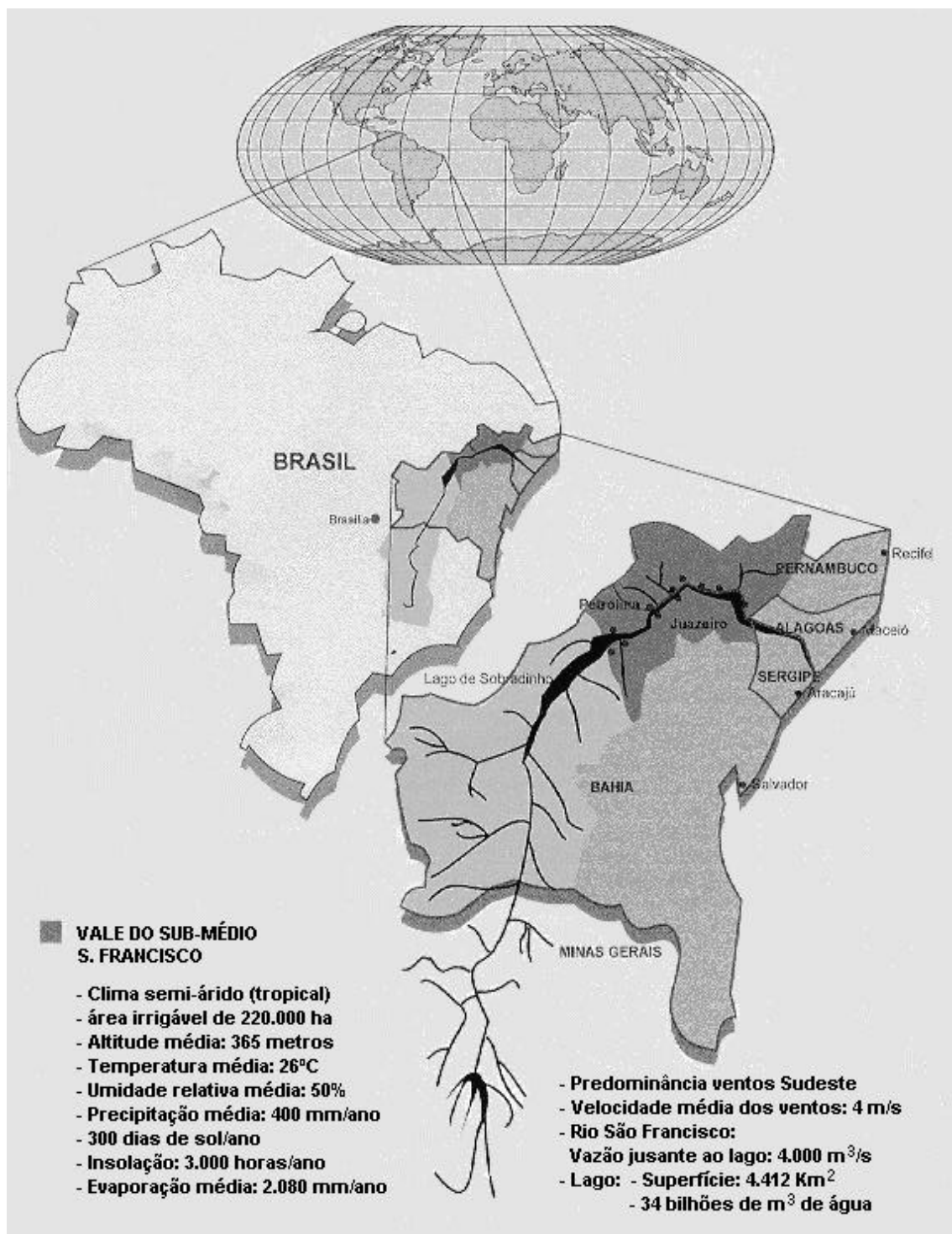
3.1.2. Perímetro irrigado Senador Nilo Coelho (DISNIC)

O Perímetro de Irrigação Vale do Massangano, denominado, posteriormente, Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho (PISNC), é advindo de uma decisão tomada pelo governo brasileiro de dar prioridade ao desenvolvimento do Nordeste através da agricultura irrigada, com o objetivo de elevar os níveis de renda e o padrão de vida e diminuir o êxodo de famílias do campo para áreas urbanas. O projeto foi implantado pela Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF), sob a jurisdição da 3^a Diretoria Regional. Sua implementação deu-se entre 1979 e 1980, entrando em fase de produção no ano de 1984 (QUAGLIA et al., 1989).

O DISNC está localizado à margem esquerda do rio São Francisco, no Nordeste brasileiro, estendendo-se desde a Barragem de Sobradinho, no Município de Casa Nova, BA, até o Município de Petrolina, PE (latitude 09° 09' S, longitude 40° 22' W), que possui cerca de 80% da área do perímetro (Figura 4).

O Projeto tem cerca de 15.000 ha em operação, com 1.457 lotes para a área de colonização, que respondem por 60% da área irrigável, e 132 lotes para a área empresarial, com 40% dessa mesma área. A captação de água é feita no dique “B” da Barragem de Sobradinho, de propriedade da Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF).

O Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho possui uma área irrigável de 20.018 ha e uma área de sequeiro com 20.745 ha. Nesse perímetro, foi feito o assentamento de 1.422 colonos, com parcelas médias de 6,5 ha; 99 glebas, de 12 a 59 ha irrigáveis, destinados a pequenos e médios empresários; e 8 glebas de 60 a 320 ha irrigáveis, para grandes empresas.



Fonte: DISNIC (1998)

Figura 4 – Localização do Distrito Senador Nilo Coelho (DISNIC), Petrolina, PE.

O DISNIC é uma das obras mais importantes construídas pela CODEVASF, promovendo o desenvolvimento do Submédio São Francisco, região das mais áridas do Nordeste brasileiro, integrante do “Polígono das Secas”, com um investimento da ordem de US\$200.000.000,00. Até 1989, estavam implantados 15.600 ha, com uma área em torno de 12.400 ha efetivamente em produção. Estima-se que cerca de 70.000 empregos diretos e indiretos são gerados pelo projeto na região. Esse local foi selecionado pela existência de vasta área com possibilidade de ser irrigada (inicialmente estimada em 120.000 ha), como também pela proximidade das Cidades de Petrolina e Juazeiro, importantes pólos econômicos do Submédio São Francisco (QUAGLIA et al., 1989).

Em 1989, dando prosseguimento à sua política de emancipação, a CODEVASF transferiu para o Distrito de Irrigação a operação e manutenção do DISNIC, através de contrato de delegação de competência. Em substituição ao Estado, passa a ser responsável pela administração do projeto uma associação de usuários. Tal associação é uma organização privada de caráter coletivo, instituída juridicamente nos moldes de associação civil, sem fins lucrativos e dotada de personalidade jurídica própria, tendo como objetivos primordiais a administração, a operação e a manutenção da infra-estrutura de irrigação e do patrimônio do projeto. Nesse patrimônio estão incluídos os bens físicos e financeiros recebidos do governo ou de particulares, bem como a cobrança de taxas pela prestação de serviços, como a do fornecimento de água, além de fornecer as condições necessárias para a produção agrícola e o bem-estar dos associados.

3.1.3. Perímetro irrigado Paracatu/Entre Ribeiros (PCPER)

Na década de 80, o Brasil, através da empresa pública Brasagro S.A., aliou-se à agência japonesa JICA, constituindo, então, a CAMPO: empresa destinada à implantação de projetos de colonização agrícola nas zonas do

Cerrado brasileiro. Para isso, foi criado o PRODECER (Programa de Desenvolvimento do Cerrado brasileiro).

Em 1983, foi implantado em Paracatu, MG, o primeiro projeto atendido pelo PRODECER, que se chamou PCPER (Projeto de Colonização Paracatu/Entre Ribeiros), fruto do entendimento e comprometimento entre a CAMPO (gestora do PRODECER), o Governo Estadual, o Banco de Desenvolvimento do Estado de Minas Gerais (BDMG) e o Banco do Brasil S.A. (agentes financeiros), a Cooperativa Agropecuária do Vale do Paracatu Ltda. (COOPERVAP), responsável pela implantação, e a Prefeitura Municipal (responsável pela infra-estrutura mínima). Esse projeto foi dividido em quatro etapas (Figura 5), estando somente a primeira em funcionamento (PCPER I). As partes II e III estão com os lotes implantados, o canal de irrigação principal pronto e a rede elétrica instalada, faltando apenas os equipamentos de irrigação individuais. No PCPER IV somente as propriedades estão implantadas.

O PCPER está localizado ao noroeste do Estado de Minas Gerais (latitude $16^{\circ} 45' S$, longitude $46^{\circ} 30' W$ e altitude variando de 518 a 524 m), na microbacia do Entre Ribeiros, pertencente à bacia do São Francisco.

Atualmente, o projeto Paracatu/Entre Ribeiros é administrado pela Associação de Apoio aos Produtores do Paracatu/Entre Ribeiros (AAPER), criada em 8 de abril de 1985. A fase I, completamente em operação, tem uma área irrigável de 2.460 ha, com pivôs centrais (com área de 30 a 60 ha) praticamente em sua totalidade.

O PCPER I possui duas estações de bombeamento principais (EBP), sendo uma com quatro bombas (EBP velha) e outra com oito bombas (EBP nova). Considerando-se que as bombas possuem uma capacidade nominal de bombeamento de $800 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, a EBP velha, "a priori", deveria bombear $3.200 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e a EBP nova, $6.400 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

Como não existem medidores de vazão, os cálculos feitos para suas estimativas acabam por ser pouco confiáveis, não permitindo saber exatamente qual o volume bombeado para os canais principais.

A água é bombeada do Ribeirão Entre Ribeiros pelas bombas da EBP e distribuída para os canais principais A, B, C e D, que possuem um comprimento total de, aproximadamente, 36,5 km. A água dos canais principais e secundários é, então, bombeada para as áreas pelas EB dos pivôs, uma vez que cada lote possui uma EB própria, num total de 41 lotes.

Os proprietários possuem de um a três pivôs em cada lote, totalizando 57 pivôs em todo o PCPER I, utilizando água dos canais principais e secundários. Os dados referentes à fase I foram utilizados para a condução do presente trabalho.

3.2. Determinação dos indicadores

Nos perímetros foram definidos alguns indicadores independentes devido à disponibilidade de dados em cada perímetro. Por exemplo, o indicador salinidade foi determinado para o perímetro Jaíba e não-determinado para o perímetro Senador Nilo Coelho nem para o perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I, uma vez que esses perímetros não apresentavam limitações dessa natureza.

3.2.1. Perímetro irrigado do Jaíba (DIJ)

Para o perímetro irrigado do Jaíba, CARVALHO F^o (2000) determinou os seguintes indicadores: razão global de consumo (RGC), razão de aplicação em nível de parcela (RANP), sustentabilidade da área irrigada (SAI), profundidade relativa do lençol freático (PRFL), salinidade, fração de operação e manutenção (FOM) e relação entre produção de produto comercializável e o volume de água derivado para as culturas.

Para comparação com os outros dois perímetros, foram utilizadas: a RGC, a SAI e a FOM.

3.2.2. Perímetro irrigado Senador Nilo Coelho (DISNIC)

Os dados do DISNIC, nos anos de 1989 a 1998, foram coletados e processados por SOUZA (1999), que utilizou os seguintes indicadores: RGC, SAI, fornecimento médio de água (FMA), desempenho da distribuição de água (DDA) e demanda de potência (DDP) e consumo de energia (CEn).

Para o presente trabalho foram coletados, processados e analisados os dados dos anos de 1999 e 2000 uma vez que SOUZA (1999), na realização do seu trabalho, processou dados até o ano de 1998. Também, foram determinados os indicadores: retorno econômico bruto unitário (REcBU) e relação global benefício/custo (RGBC).

a) Retorno econômico bruto unitário (REcBU)

O retorno econômico bruto unitário foi calculado através da equação

$$\text{REcBU} = \frac{\text{VBP}}{V_f} \quad (16)$$

em que

VBP = valor bruto da produção, calculado pela equação

$$\text{VBP} = \Sigma (A_p P P_m) \quad (17)$$

em que

A_p = área plantada;

P = produtividade; e

P_m = preço de mercado (de cada produto) para a venda.

b) Relação global benefício/custo (RGBC)

Para calcular a relação global benefício/custo, usou-se a relação

$$\text{RGBC} = \frac{\text{REcBU}}{\text{custo do m}^3} \quad (18)$$

O custo do metro cúbico de água bombeado foi determinada, dividindo-se o V_f pelos gastos tidos com energia elétrica.

3.2.3. Perímetro irrigado Paracatu/Entre Ribeiros I (PCPER I)

A coleta dos dados para determinação dos indicadores foi feita entre julho e outubro de 2000. Os dados referentes a 1997, 1998 e 1999 foram obtidos dos arquivos do Condomínio do PCPER I e da AAPER. Os dados de 2000 foram coletados no campo, ao longo do ano.

Com os dados coletados, foram determinados os seguintes parâmetros: razão global de consumo (RGC), razão de entrega (R_d), sustentabilidade da área irrigada (SAI), fração de operação e manutenção (FOM), demanda de potência (DDP), consumo de energia (CEn), retorno econômico bruto unitário (REcBU) e relação global benefício/custo (RGBC).

a. Razão global de consumo (RGC)

Este indicador permite verificar em que proporção o volume de água bombeado para o perímetro foi utilizado pelas culturas.

A RGC foi obtida através da equação 5. Os cálculos de V_m , volume de água correspondente à demanda de irrigação, foram feitos utilizando-se o ‘software’ CROPWAT (FAO, 1997).

Para executar o programa, foi necessário criar os bancos de dados “clima” e “cultura” para o local (PCPCER I). Para cada ano estudado (1997 a 2000) foi criado um arquivo “clima”, cujos dados climáticos usados foram obtidos da estação climatológica existente no PCPER.

Para criar os arquivos “cultura”, foi necessário fazer um levantamento das áreas e culturas implantadas em cada safra, bem como um levantamento das datas de semeadura e colheita das mesmas. Esses dados foram obtidos por meio de entrevistas realizadas com os gerentes dos lotes do perímetro. Para os lotes que estavam arrendados e cujos produtores não sabiam o seu histórico, assumiu-

se que os mesmos foram cultivados com a sucessão feijão/milho, uma vez que estas são as culturas mais freqüentes. De posse do levantamento dos dados (áreas, culturas e datas), foram separadas as culturas mais representativas e predominantes do perímetro, quais sejam: feijão, milho, soja, arroz e pimentão. Como nem todas as áreas sob os pivôs foram semeadas na mesma data (mês e dia), optou-se por agrupar aquelas mais próximas, sendo utilizadas somente duas delas por mês: dias 7 e 21. No período entre 1^o e 15, considerou-se que a semeadura foi feita no dia 7 do respectivo mês e ano. No período entre o dia 16 e o final do mês, considerou-se que a semeadura foi realizada no dia 21. Para completar o arquivo “cultura”, é necessário fornecer os valores do coeficiente da cultura, K_c ; da duração do estágio de desenvolvimento da cultura; do fator de resposta de produção, K_y ; e da profundidade das raízes (inicial e final). Os valores do K_c , da duração do estágio de crescimento e de K_y foram obtidos de DOORENBOS e KASSAM (1979). Os valores da profundidade das raízes foram adotados, levando-se em conta o fato de o volume maior de raízes se encontrar em pequenas profundidades, devido à compactação do solo, causada pelo sistema de plantio direto, e, também, à própria irrigação, que ajuda a manter a concentração das raízes na superfície, uma vez que conserva úmido o local.

As profundidades das raízes adotadas encontram-se no Quadro 2.

Quadro 2 – Valores adotados para a profundidade das raízes

Cultura	Profundidade (cm)	
	Inicial	Final
Feijão	10	20
Milho	10	25
Soja	10	25
Arroz	10	20
Pimentão	10	40

Com os arquivos elaborados, o CROPWAT associa as informações dos arquivos “clima” com as dos arquivos “cultura” e fornece os valores de $ET_p - P_e$ (V_m). A ET_p é calculada usando a equação de Penman-Monteith.

Como nas segundas safras ocorrem a semeadura no final do ano e a colheita no início do próximo ano, foi necessário elaborar dois arquivos para cada cultura: um arquivo que forneceu $ET_p - P_e$ com os dados do arquivo “clima” do ano da semeadura e outro arquivo que forneceu $ET_p - P_e$ com os dados do arquivo “clima” do ano seguinte (ano da colheita). A soma do arquivo do ano da semeadura com o do ano da colheita forneceu o valor da $ET_p - P_e$ para a safra em questão (anos 98/99 e 99/00).

Para determinar o volume de água derivado para os canais principais, foram feitas várias tentativas com medidor de vazão ultra-sônico. Porém, não foi possível obter leituras confiáveis por não haver a distância mínima exigida entre as junções (flanges e curvas) na tubulação de recalque logo após a saída da bomba, o que interfere nos valores das leituras do medidor ultra-sônico. Desse modo, optou-se por calcular o volume de água através de medições diretas no canal principal (de seção trapezoidal), que foi usado como reservatório. Depois de fechadas as comportas, mediram-se as seções e o comprimento de um trecho do canal, sendo fixado o tempo de uma hora para o bombeamento de água para o mesmo. Terminado o tempo, novamente foram medidas as seções naquele segmento, e foi determinado o volume ocupado pela água bombeada no intervalo de tempo fixado. A vazão média, por bomba, foi encontrada, dividindo-se o volume por 4 (número de bombas da EBP).

O volume de água utilizado bombeado pela EBP, V_f , foi calculado com a média das vazões, determinadas conforme descrito anteriormente, multiplicado pelas horas de bombeamento de cada bomba. Os valores das horas de bombeamento foram obtidos dos arquivos da AAPER.

b. Razão de suprimento (R_d)

A R_d foi estimada através da equação 7.

O volume de água derivado para os pivôs, V_d , foi calculado utilizando-se as leituras de um medidor de vazão ultra-sônico que, acoplado à tubulação que fornece água ao pivô, permite que seja feita a leitura da vazão de cada bomba. Essas vazões multiplicadas pelas horas de funcionamento do pivô fornecem os valores de V_d . Os valores de V_f são os mesmos usados para o cálculo da RGC.

c. Sustentabilidade da área irrigada (SAI)

A determinação da SAI foi feita através da equação 10.

Os valores das áreas irrigadas foram determinados através da soma de todas as áreas dos pivôs que estavam trabalhando no respectivo ano. O valor da área total irrigável foi obtido na AAPER.

d. Fração de operação e manutenção (FOM)

Para o cálculo da FOM, foi utilizada a equação 13.

Os valores dos custos anuais de operação e manutenção e do orçamento total anual do perímetro, nos anos de 1997 a 2000, foram obtidos das planilhas do condomínio da AAPER.

Dos custos anuais de operação e manutenção constaram: despesas fixas, variável normal, variável de ponta, variável subsidiada e variáveis diversas.

As despesas fixas se referem à taxa de condomínio e gastos com veículos, limpeza de EB, salário dos funcionários, limpeza e alojamento. As variáveis normal, de ponta e subsidiada são referentes aos horários de cobrança da energia pela CEMIG, pois os horários são diferenciados. Nas despesas com variáveis diversas está a diferenciação de preço por uso (quem usa mais paga mais).

Do orçamento total anual do perímetro constaram: despesas fixas, variável normal, variável de ponta, variável subsidiada, variáveis diversas, encargos da sede, gás, telefone, contador, sindicato patronal dos trabalhadores, combustível, gastos com supermercado para a associação, advogado, restaurante, aluguel do alojamento e frutas.

e. Energia

Utilizando-se os dados de demanda de potência e consumo de energia das EBP's adquiridas na AAPER, a área irrigada e o volume de água bombeado, foi possível obter os seguintes indicadores:

- Índice da demanda de potência em kW m⁻³ fornecido.
- Índice da demanda de potência em kW ha⁻¹ irrigado.
- Índice do consumo de energia em kWh m⁻³ fornecido.
- Índice do consumo de energia em kWh ha⁻¹ irrigado.

f. Retorno econômico bruto unitário (REcBU)

Para o cálculo deste retorno, utilizou-se a equação 16.

Os dados de área plantada foram obtidos na AAPER. Os dados de produtividade das culturas e preço da venda dos produtos foram obtidos em entrevistas realizadas com os gerentes dos lotes. Devido à indisponibilidade de alguns dados, para certos lotes, foi necessário determinar o VBP através de amostragem (sendo considerada a sucessão mais representativa: feijão/milho).

g. Relação global benefício/custo (RGBC)

A relação global benefício/custo foi determinada através da equação 18.

3.3. Comparação entre os perímetros

A partir do conjunto básico de indicadores definidos pelo grupo de trabalho do Projeto RPIP (Quadro 1), e em função de dados existentes, selecionaram-se os indicadores, descritos anteriormente, para avaliação do desempenho dos três perímetros.

Durante a coleta de dados para determinação dos indicadores havia dados disponíveis que possibilitariam a determinação de alguns indicadores, como o retorno econômico bruto unitário e a relação global benefício/custo, ressaltando-se que estes não constam da lista de indicadores propostos (Quadro 1).

Fizeram-se uma análise dos indicadores, no âmbito de cada perímetro, e, posteriormente, uma análise comparativa entre os mesmos e entre os valores médios desses indicadores. Isso permitiu que se comparasse o desempenho de três distritos diferentes, em nível nacional, em regiões consideradas pólos importantes de produção. Fez-se, também, uma análise crítica geral dos indicadores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Razão global de consumo (RGC)

4.1.1. Razão global de consumo para o perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I

A razão global de consumo do perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I nos anos de 1997 a 2000 encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Razão global de consumo do perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I nos anos de 1997 a 2000

ANO	V_m (m^3)	V_f (m^3)	RGC
1997	7.642.490,10	17.117.323	0,45
1998	6.561.600,20	23.744.618	0,28
1999	7.840.073,20	22.382.753	0,35
2000	8.534.766,35	18.053.636	0,47
MÉDIA			0,39

Observou-se que esses valores aumentaram e diminuíram de um ano para outro.

Os valores da RGC inferiores a 1,0 indicam volume de água, fornecida aos canais principais, superior ao usado pelas culturas, uma vez que a RGC aumenta com a diminuição de V_f . Valores superiores a 1,0 indicam "deficit" hídrico.

Os valores de V_m variam de acordo com vários fatores, entre eles a cultura (maior ou menor ET_p). Tais fatores oscilam, mas não de maneira discrepante, o que aponta para a existência de problemas com relação ao V_f , que aumentou bastante de 1997 para 1998, ficando quase na mesma faixa em 1999 e tornando a cair em 2000. Os valores de V_f também justificam as quedas e o aumento da RGC nos respectivos anos. As diferenças observadas nos valores de V_f podem, também, ser justificadas por perdas ocorridas nos canais (vazamentos, infiltrações, transbordamentos), uma vez que o aumento da área irrigada no período (de 2.343,0 ha para 2.433,8 ha) não justifica tal acréscimo de demanda de água.

O fato de não ser possível uma leitura mais confiável das vazões de água que realmente são entregues ao canal principal pode ser um dos fatores que influenciam os valores da RGC. Outro fator pode ser a falta de precisão na estimativa dos valores de V_m . Os baixos valores da RGC refletem um desempenho muito baixo, com desperdício de mais da metade da água aplicada pelos pivôs.

4.1.2. Razão global de consumo para o perímetro Senador Nilo Coelho

Os valores da razão global de consumo do perímetro Senador Nilo Coelho, nos anos de 1990 a 1998, são apresentados na Tabela 2.

Observou-se uma variação de valores de 0,35 a 0,73. Os valores aumentaram de 1990 a 1992, permaneceram próximos de 0,6 de 1993 até 1995, aumentando em 1996 e 1997 e tornando a cair em 1998.

Tabela 2 – Razão global de consumo do perímetro Senador Nilo Coelho nos anos de 1990 a 1998

Ano	V_m (1.000 m³)	V_f (1.000 m³)	RGC
1990	28.456	82.237	0,35
1991	37.568	87.174	0,43
1992	42.029	96.077	0,44
1993	92.130	149.703	0,62
1994	88.483	141.545	0,63
1995	73.710	121.422	0,61
1996	88.103	125.654	0,70
1997	84.833	116.342	0,73
1998	105.118	186.918	0,56
MÉDIA			0,56

De acordo com SOUZA (1999), o aumento ocorrido na eficiência do perímetro, principalmente a partir de 1992, é coincidente com a criação da assistência técnica (ATER) do DISNIC. Com o auxílio da assistência técnica, melhora-se o manejo, aumentando a eficiência de irrigação e utilizando racionalmente a água. Conseqüentemente, há influência nos volumes de água que serão bombeados para os canais principais e reservatórios. Outras razões para o aumento da eficiência foram a automação das estações de bombeamento principais, a mudança de culturas e dos sistemas de irrigação (substituição de aspersão convencional por irrigação localizada) e o manejo da água.

Outros fatores que contribuíram para os baixos valores da RGC de 1990 a 1992 foram: o manejo de água da época, uma vez que o bombeamento era controlado manualmente pelos canaleiros e, também, os reservatórios de compensação (num total de 14, com capacidade variando entre 20.000 e 250.000 m³ a jusante dos canais), pois boa parte da água escoada para fora dos canais ficava armazenada temporariamente neles.

Era esperado que um aumento nos valores de V_m ($ET_p - P_e$) fosse acompanhado de outro em V_f . A ET_p influencia diretamente o V_m , que aumentando provoca a necessidade de bombear mais água para irrigar.

Os aumentos nos valores de V_m não parecem justificar, proporcionalmente, tais volumes bombeados, que são superiores ao volume necessário às culturas, o que indica que pode ter havido excesso de água bombeada. Porém, esse excesso pode ter ficado armazenado nos reservatórios de compensação; uma vez que o distrito e a ATER vêm orientando a substituição dos sistemas de aspersão convencional por sistemas de irrigação localizada (lotes com fruticultura), há tendência de economia nos volumes de água, já que esta deverá ser mais bem aproveitada, o que, conseqüentemente, faria a RGC aumentar.

4.1.3. Razão global de consumo para o perímetro Jaíba

Os valores da razão global de consumo das glebas representantes do perímetro Jaíba encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Razão global de consumo do perímetro Jaíba nos anos de 1996 a 1998

ANO	V_m (m^3)	V_f (m^3)	RGC
1996	27.643.260	43.624.401	0,63
1997	26.755.764	38.170.135	0,70
1998	42.576.552	55.387.961	0,77
MÉDIA			0,70

Houve aumento progressivo na RGC de 1996 para 1998, o qual pode ser considerado satisfatório.

Comparando os dados de V_f com V_m , observou-se que, quando a RGC apresentou valores baixos, isso foi devido ao excesso de água bombeado para o canal principal. A diminuição de V_m pode ter sido influenciada tanto pelo tipo de cultura (maiores ou menores ET_p) quanto pela área irrigada, que aumentou progressivamente no período analisado. Outro fator que pode ter influenciado os valores da RGC é o fato de parte da água ter sido bombeada apenas para o reservatório de compensação (localizado na entrada da gleba e que armazena água para posterior utilização) e não transferida para os usuários, interferindo nos valores de V_f .

Nos anos de 1997 e 1998, o aumento ocorrido pode ser explicado pela substituição dos sistemas de irrigação de superfície por aspersão convencional e localizada, bem como pela instalação, mesmo que parcial, de hidrômetros individuais. Os hidrômetros possibilitam ao usuário saber quanto de água está usando, permitindo, assim, o controle dessa quantidade. Através das leituras, os produtores pagaram apenas a água consumida em seu lote; os demais rateavam o pagamento do volume bombeado menos os volumes registrados nos hidrômetros individuais. Logo, se um irrigante usa água em excesso, os outros ajudam a pagar pelo erro, portanto ele não tem motivação para melhorar o manejo e a operação.

4.1.4. Comparação entre os perímetros

Os dados da razão global de consumo, referentes aos três perímetros, encontram-se na Tabela 4.

Os valores da RGC do PCPER I diferem bastante daqueles encontrados nos outros perímetros, ou seja, são inferiores. De modo geral, o DIJ apresentou valores superiores àqueles encontrados no PCPER I e no DISNIC.

Os valores do DISNIC e do DIJ apresentaram, com o passar dos anos, uma elevação indicando que a água aplicada está sendo mais bem utilizada pelas culturas, portanto podem ser considerados satisfatórios.

Tabela 4 – Razão global de consumo dos perímetros Paracatu/Entre Ribeiros I, Senador Nilo Coelho e Jaíba

ANO	PCPER I	DISNIC	DIJ
1990		0,35	
1991		0,43	
1992		0,44	
1993		0,62	
1994		0,63	
1995		0,61	
1996		0,70	0,63
1997	0,45	0,73	0,70
1998	0,28	0,67	0,77
1999	0,35		
2000	0,47		
MÉDIA	0,39	0,56	0,70

De modo geral, o DISNIC e o DIJ apresentam valores razoáveis, podendo ser considerados satisfatórios, porém possíveis de serem melhorados. Os valores do PCPER I ficaram comparativamente baixos, apontando para a necessidade de uma considerável melhoria no manejo de água dos pivôs.

Tais valores podem ter variado devido aos vários fatores já comentados, como: aumento das áreas irrigadas, tipos de culturas plantadas, tipos de sistemas de irrigação, excesso de água bombeada para canais e reservatórios e condições climáticas, entre outros.

Os tipos de culturas podem ter influenciado bastante a RGC do DISNIC, que aumentou progressivamente, uma vez que cultivos anuais foram substituídos por culturas perenes na maior parte do distrito. Porém, nos outros dois perímetros, é provável que os problemas estejam ligados mais ao excesso de água aplicada do que aos tipos de culturas.

De acordo com MOLDEN et al. (1998), considerando a variação de solos, entrega de água e práticas do agricultor, é trabalhoso obter uma estimativa

regional de ET_p . Porém, maior grau de incerteza existe quanto à estimativa da P_e , uma vez que há vários métodos para estimá-la, com resultados nem sempre consistentes entre eles.

O próprio trabalho realizado no PCPER I corrobora o do autor desta pesquisa, haja vista o tempo despendido em discussões para definir qual software seria mais viável para o que se pretendia, ou seja, a confiabilidade dos métodos usados para calcular ET_p e P_e , a dificuldade de obter os valores destas variáveis em safras iniciadas em um ano e terminadas no outro (ajuste de datas) e o ajuste da diversidade das culturas, que resultou de uma amostragem do perímetro.

Quanto aos cálculos de ET_p , há uma tecnologia emergente para determinar tais valores através do uso do sensoriamento remoto, a partir de imagens de satélite, desenvolvida por BASTIAANSSEN (1998). Essa tecnologia já está sendo utilizada no DISNIC e poderá ser utilizada em outros perímetros, facilitando e tornando prática, para técnicos e pesquisadores, a obtenção dos dados. A vantagem em determinar de forma integrada, para toda a área, a evapotranspiração diretamente das imagens, através de algoritmos desenvolvidos, tem tornado o cálculo mais rápido, mais realista e mais barato. Com o uso de imagens de satélite, evita-se a necessidade do trabalho campo/escritório (mão-de-obra especializada), identificando as áreas de cada cultura, épocas de plantio e colheita e cálculos de ET_p individualmente, pois os modelos/algoritmos adotados fazem o cálculo, e uma única imagem de satélite cobre toda a área de um perímetro irrigado. Também, há a vantagem de (no caso do NOAA) as imagens serem obtidas via Internet.

4.2. Razão de suprimento (R_d)

4.2.1. Razão de suprimento para o perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I

Os dados de razão de suprimento encontrados nos anos de 1997 a 2000, no perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I, são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Razão de suprimento do perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I nos anos de 1997 a 2000

ANO	V_d (m^3 mês $^{-1}$)	V_f (m^3 mês $^{-1}$)	R_d
1997	14.959.095,0	17.117.323	0,87
1998	20.050.431,7	23.744.618	0,84
1999	17.920.568,0	22.382.753	0,80
2000	15.537.423,7	18.053.636	0,86
MÉDIA			0,84

Nos anos de 1998 e 1999, houve aumento nos valores de V_d e de V_f , que tornaram a cair no ano de 2000. Esse aumento pode ter ocorrido pela necessidade de mais irrigação, provocada por condições climáticas, ou pelo mau manejo da irrigação nos lotes.

As diferenças entre V_f e V_d podem ser decorrentes de perdas por evaporação, transbordamento dos canais e infiltrações ocorridas em certas partes dos canais com problemas de rompimento do revestimento plástico. A comparação entre os valores de R_d e RGC permite constatar que a distribuição de água pelos canais foi satisfatória em contraposição a um manejo de irrigação muito deficiente em campo.

Os valores de R_d são considerados satisfatórios, uma vez que, para este indicador, estão se propondo valores em torno de 0,8. Logo, pode-se afirmar que o sistema de bombeamento e distribuição está funcionando satisfatoriamente. BASTINGS (1999), tomando por base Bos (1974), classificou valores de 0,46 e 0,56 como baixos para uma área irrigada como a do PCPER I. Do volume total de água bombeada para o perímetro, 87, 84, 80 e 86% foram repassados para os usuários nos anos de 1997, 1998, 1999 e 2000, respectivamente, o que constitui desempenho satisfatório para um sistema de distribuição em canais abertos.

4.2.2. Razão de suprimento para o perímetro Senador Nilo Coelho

O perímetro Senador Nilo Coelho também apresentou desempenho satisfatório, cujos dados se encontram na Tabela 6.

Tabela 6 – Razão de suprimento do perímetro Senador Nilo Coelho nos anos de 1989 a 2000

ANO	V _d (1.000 m ³)	V _f (1.000 m ³)	R _d
1989	71.827	88.397	0,81
1990	85.164	82.237	1,04
1991	91.332	87.174	1,05
1992	89.106	96.077	0,93
1993	149.637	149.703	1,00
1994	128.664	141.545	0,91
1995	109.568	121.422	0,90
1996	129.916	125.654	1,03
1997	114.212	116.342	0,98
1998	141.931	186.919	0,76
1999	177.357	179.213	0,99
2000	168.612	157.551	1,07
MÉDIA			0,96

Os valores da razão de suprimento entre 0,76 e 1,07 indicam desempenho muito bom entre o volume captado das EBP's e o volume disponibilizado aos usuários.

Tanto os valores de V_f quanto os de V_d, acima ou abaixo um do outro, podem ser justificados pelo uso da água armazenada nos reservatórios de compensação ou pelo abastecimento destes.

Valores de V_f acima dos valores de V_d podem ser justificados pela necessidade de se abastecerem os reservatórios. Valores de V_d acima dos de V_f podem ser explicados pela necessidade de se irrigar com água dos mesmos.

Assim, os valores acima de 1,0 ocorreram, provavelmente, devido ao fato de parte representativa do V_f ser bombeada da água acumulada nos reservatórios de compensação.

O bom desempenho do DISNIC pode estar relacionado ao fato de todas as EB's serem automatizadas e existirem sensores ultra-sônicos que desligam e ligam as bombas quando o nível da água atinge o limite superior ou o limite inferior, respectivamente, evitando que os canais transbordem ou esvaziem totalmente.

Outro fator é a existência de um plano de irrigação do perímetro, sistema de demanda livre, como forma operacional de fornecimento de água aos usuários, ou seja, os próprios usuários apresentam um plano anual de irrigação, indicando o volume necessário ao atendimento da implantação de sua cultura. Esse plano é analisado e aprovado pelo distrito passando a integrar o plano de irrigação global do perímetro. A água é entregue ao usuário, na tomada parcelar do lote, com uma vazão, horário e dias predeterminados pelo distrito, em função do plano de irrigação, e de pleno conhecimento do usuário. As informações sobre a programação de água do dia (nível das comportas, dos reservatórios, número de canais abertos etc.) são enviadas para a sede do distrito e, imediatamente, são repassadas para o Departamento de Água, onde são feitos ajustes necessários a respeito do tempo de funcionamento das motobombas na EBP, suficiente para repor o consumo de água no dia seguinte. As EB automatizadas também são programadas para trabalhar no dia seguinte ou à noite, caso haja necessidade.

4.2.3. Comparação entre os perímetros

Os dados da razão de suprimento, referentes aos dois perímetros, encontram-se na Tabela 7.

Os dois perímetros tiveram desempenho satisfatório, ficando em torno de 0,8 e 1,0, respectivamente, indicando que a operação dos canais está sendo bem realizada.

Tabela 7 – Razão de suprimento dos perímetros Paracatu/Entre Ribeiros I e Senador Nilo Coelho

ANO	PCPER I	DISNIC
1989		0,81
1990		1,04
1991		1,05
1992		0,93
1993		1,00
1994		0,91
1995		0,90
1996		1,03
1997	0,87	0,98
1998	0,84	0,76
1999	0,80	0,99
2000	0,86	1,07
MÉDIA	0,84	0,96

O fato de a água estar sendo bem distribuída não quer dizer que ela está sendo bem utilizada. Isso pode ser verificado nos valores da RGC dos dois distritos que mostraram que a mesma é mais bem aproveitada no DISNIC do que no PCPER I. Tal fato pode ser justificado pelo melhor manejo da irrigação em nível de parcela que está sendo feito no DISNIC.

4.3. Sustentabilidade da área irrigada (SAI)

4.3.1. Sustentabilidade da área irrigada para o perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I

Na Tabela 8, apresentam-se os dados de sustentabilidade da área irrigada nos anos de 1997 a 2000, no perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I.

Observou-se pequeno aumento na área irrigada de um ano para outro. Esse aumento é explicado pela implantação de novos pivôs nos lotes e pelo aumento do raio de alguns pivôs.

Tabela 8 – Sustentabilidade da área irrigada do perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I nos anos de 1997 a 2000

ANO	Área Irrigada (ha)	Área Irrigável (ha)	SAI
1997	2.343,0	2.460,0	0,95
1998	2.365,0	2.460,0	0,96
1999	2.389,5	2.460,0	0,97
2000	2.433,8	2.460,0	0,99
MÉDIA			0,97

Apesar de aparentar ser insignificante, esse aumento é importante, pois indica que a ocupação da área é quase total, objetivando 100% de ocupação, o que é característico em um empreendimento empresarial com utilização de pivôs centrais, cuja produção predominante é de sementes e grãos, ao longo do ano.

Praticamente 90% do perímetro é cultivado com culturas anuais, com pequena área cultivada com abacaxi. Devido à má condição das vias de acesso que levam ao perímetro, os produtores dão preferência a culturas anuais que não sofrem danos no transporte e que têm mercado garantido. Outro fator limitante à implantação de algumas culturas perenes de maior porte é que no PCPER I os sistemas de irrigação são do tipo pivô central.

4.3.2. Sustentabilidade da área irrigada no perímetro Senador Nilo Coelho

Os dados da sustentabilidade da área irrigada do perímetro Senador Nilo Coelho encontram-se na Tabela 9.

Observou-se que, a partir de 1993, houve aumento progressivo na área irrigada. De acordo com SOUZA (1999), isso ocorreu devido à implantação do serviço de assistência técnica aos pequenos produtores. A fruticultura também colaborou para o avanço nas novas áreas, por apresentar maior viabilidade econômica.

Tabela 9 – Sustentabilidade da área irrigada do perímetro Senador Nilo Coelho nos anos de 1989 a 2000

Ano	Área Irrigada (ha)	Área Irrigável (ha)	SAI
1989	4.354	14.787	0,29
1990	5.055	14.846	0,34
1991	6.637	15.226	0,44
1992	7.460	15.209	0,49
1993	10.472	15.218	0,69
1994	10.960	15.213	0,72
1995	11.782	14.708	0,80
1996	11.301	14.783	0,76
1997	11.666	15.141	0,77
1998	12.161	15.528	0,78
1999	14595	18306	0,80
2000	16.665	20.324	0,82
MÉDIA			0,64

Na fase de implantação, a SAI apresentou um valor de 0,29 em 1989, atingiu 0,8 em 1995 e tornou a cair em 1996, gradualmente recuperando-se nos anos seguintes.

Essa queda se explica pela redução na área plantada com culturas anuais e aumento da área com culturas perenes. Outro fator que influenciou foi a ocorrência de fortes ventos em 1997 e 1998, causando a queda de extensas áreas cultivadas com banana, o que provocou a substituição por outras culturas perenes, com reflexos na área total cultivada com essa cultura.

4.3.3. Sustentabilidade da área irrigada para o perímetro Jaíba

Os dados de sustentabilidade da área irrigada do perímetro Jaíba são apresentados na Tabela 10.

Observou-se aumento na SAI de 1993 a 1996, havendo queda nos anos de 1997 e 1998.

Tabela 10 – Sustentabilidade da área irrigada do perímetro Jaíba nos anos de 1993 a 1998

ANO	SAI
1993	0,51
1994	0,50
1995	0,52
1996	0,61
1997	0,54
1998	0,46
MÉDIA	0,52

De acordo com CARVALHO F^o (2000), a queda dos preços praticados na comercialização da banana (principal cultura da região) fez com que os produtores deixassem de produzir tal cultura, com isso diminuindo a área irrigada e, conseqüentemente, afetando o valor da SAI. Os problemas enfrentados pelos produtores na hora da comercialização dos produtos podem ter influenciado a SAI, já que, desestimulados, deixariam de utilizar a área.

4.3.4. Comparação entre os perímetros

Os dados da sustentabilidade da área irrigada, referentes aos três perímetros, encontram-se na Tabela 11.

No PCPER I, as áreas ocupadas são, na maioria, com culturas de ciclo anual, e esse perímetro apresenta a melhor taxa de ocupação dos três perímetros estudados.

De acordo com SOUZA (1999), o DISNIC apresentou inversão no percentual de ocupação de áreas entre culturas anuais e perenes. No início da operação do projeto, houve preferência dos produtores por culturas anuais, que são menos onerosas, de fácil condução, porém de menores resultados econômicos, pois são mais destinadas à subsistência, à incorporação ao solo e à

Tabela 11 – Sustentabilidade da área irrigada dos perímetros Paracatu/Entre Ribeiros I, Senador Nilo Coelho e Jaíba

ANO	PCPER I	DISNIC	DIJ
1989		0,29	
1990		0,34	
1991		0,44	
1992		0,49	
1993		0,69	0,51
1994		0,72	0,50
1995		0,80	0,52
1996		0,76	0,61
1997	0,95	0,77	0,54
1998	0,96	0,78	0,46
1999	0,97	0,80	
2000	0,99	0,82	
MÉDIA	0,97	0,64	0,52

receita para o pagamento da tarifa de água. Outro motivo dessa preferência é o atraso nas liberações de créditos, que acaba por desestimular os agricultores. No DIJ, com a introdução de culturas perenes (fruticultura), houve tendência de elevação na SAI. Esses valores tendem a mudar com o tempo, uma vez que o projeto ainda está em implantação e sua área irrigável continua aumentando.

4.4. Fração de operação e manutenção (FOM)

4.4.1. Fração de operação e manutenção no perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I

Na Tabela 12, apresentam-se os dados de custos anuais de operação e manutenção (CAOM) e do orçamento anual total do perímetro (OATP), bem como a fração de operação e manutenção nos anos de 1997 a 2000, no perímetro Paracatu Entre Ribeiros I.

Tabela 12 – Fração de operação e manutenção do perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I nos anos de 1997 a 2000

ANO	CAOM (U\$)	OATP (U\$)	FOM
1997	355.879,62	541.944,44	0,66
1998	340.066,37	504.615,51	0,67
1999	218.635,78	315.658,94	0,69
2000	221.861,80	302.174,05	0,73
MÉDIA			0,69

Verificou-se aumento na fração de ano a ano. Isso pode ser explicado pelo aumento constante nas tarifas de energia elétrica, uma vez que esta é o principal componente do orçamento total do distrito e, também, os gastos com outras despesas (administração de escritório, transporte) podem ter diminuído; diminuição no orçamento total do distrito implica aumento na fração de O&M. Isso representa que o perímetro está concentrando seus gastos em operação e manutenção.

É importante salientar que as despesas com energia elétrica são referentes somente à energia gasta na EBP para fornecer água aos canais principais e secundários. A energia elétrica gasta com o sistema de irrigação é paga, individualmente, pelo proprietário.

4.4.2. Fração de operação e manutenção do perímetro Jaíba

Na Tabela 13, apresentam-se as porcentagens dos gastos com as despesas de operação e manutenção do perímetro Jaíba.

Os valores da FOM vão de 23% em 1995 a 36% em 1998. Esses valores indicam que apenas um terço do orçamento total do distrito está direcionado efetivamente para operação e manutenção, o que representa um índice baixo. A elevação observada nos valores pode ter sido devido ao aumento da área irrigada que, praticamente, triplicou de 1993 para 1998. Aumento na área irrigada implica mais gastos com operação e manutenção, o que, conseqüentemente, reflete na FOM.

Tabela 13 – Fração de operação e manutenção do perímetro Jaíba nos anos de 1995 a 1998 (em porcentagem)

ANO	FOM
1995	0,23
1996	0,29
1997	0,27
1998	0,36
MÉDIA	0,29

Os baixos valores evidenciam que o orçamento total não aumentou na mesma proporção que os gastos em operação e manutenção, o que pode estar indicando que está sendo investido dinheiro em outras áreas, ou seja, o perímetro está gastando mais dinheiro em outras atividades que não em operação e manutenção (administração, licitações etc.) típicas de um perímetro em implantação.

4.4.3. Comparação entre os perímetros

Os dados da fração de operação e manutenção dos dois perímetros encontram-se na Tabela 14.

Os dados do PCPER I estão bem acima daqueles encontrados no DIJ, aumentando ano a ano. No DIJ, os dados tiveram pouca alteração, sendo o maior valor encontrado no ano de 1998.

Valores elevados da fração de operação e manutenção (FOM) geralmente indicam um bom gerenciamento do perímetro, ou seja, os gastos estão voltados para operação e manutenção, portanto bom gerenciamento. Assim, pode-se afirmar que o gerenciamento do PCPER I está melhor que o do DIJ. Os baixos valores da FOM no DIJ, a princípio, não indicam boa gestão, mas têm a atenuante de estar em fase de implantação, o que implica gastos com construção e aquisição de equipamentos, entre outros.

Tabela 14 – Fração de operação e manutenção dos perímetros Paracatu/Entre Ribeiros I e Jaíba

ANO	PCPER I	DIJ
1995		0,23
1996		0,29
1997	0,66	0,27
1998	0,67	0,36
1999	0,69	
2000	0,73	
MÉDIA	0,69	0,29

No DIJ, a exemplo do PCPER I, o item de maior importância é a energia elétrica, chegando a representar 55,29% dos gastos daquele distrito, conforme se verifica na Tabela 15. Vale ressaltar que a energia que chega às áreas de cada produtor é paga por ele.

Tabela 15 – Porcentagem dos gastos com energia elétrica no perímetro Jaíba nos anos de 1995 a 1998

ANO	Gastos com Energia Elétrica (%)
1995	51,99
1996	53,88
1997	54,35
1998	55,29

4.5. Energia

4.5.1. Demanda de potência e consumo de energia no perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I

A demanda de potência representa a potência necessária para operar a estação de bombeamento. Uma vez que a sustentabilidade da área irrigada é considerada ótima, a EBP pode estar trabalhando no nível planejado, embora isso não possa ser observado devido ao fato de a água ficar armazenada nos canais para posterior distribuição e não haver controle da água que entra e sai dos canais. O único controle feito é o de água solicitada para irrigar cada área, mesmo assim a solicitação é feita através de rádio amador, quando os gerentes dos lotes comunicam ao escritório os horários que irão irrigar. Os canaleiros ficam responsáveis pela verificação de quais pivôs estão usando água e dos horários de utilização, o que permite um controle nas horas de bombeamento para posterior cobrança. Essa verificação se torna fácil, pois, ao ser ligada a bomba que aciona o pivô, automaticamente se acende uma lâmpada que fica visível do lado de fora da EB do respectivo pivô e também permite ao canaleiro saber se o horário de pico está sendo respeitado.

O horário de pico é aquele em que a empresa de energia elétrica tem de atender a uma demanda muito grande de energia. Portanto, para evitar sobrecargas nas redes, a empresa não permite que motores de 75 CV para cima sejam ligados nesse horário, uma vez que os mesmos precisam de muita demanda na partida e têm grande consumo. No período entre 16 e 21 h não se pode irrigar ou bombear água. Os proprietários não podem irrigar, pois a reposição da água nos canais principais é feita das 16 às 18 h e das 18 às 21 h e é respeitado o horário de pico. Outro fator que faz com que esse horário seja respeitado é que o custo da tarifa da energia, nesse horário, é 1.000% superior ao custo no horário normal. Das 23 às 5 h, é cobrada uma tarifa reduzida. Assim, procura-se irrigar nesse horário.

Os dados de demanda de potência (DDP) e de consumo de energia (CEn) no perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I encontram-se na Tabela 16.

Tabela 16 – Demanda de potência e consumo de energia do perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I nos anos de 1997 a 2000

ANO	Demanda (kW)	Consumo (kWh)	Demanda de Potência		Consumo de Energia	
			(kW m ⁻³)	(kW ha ⁻¹)	(kWh m ⁻³)	(kWh ha ⁻¹)
1997	11.937	3.919.569	0,00070	5,09	0,23	1.672,88
1998	14.084	4.551.377	0,00059	5,96	0,19	1.924,47
1999	12.391	4.661.536	0,00055	5,19	0,21	1.950,84
2000	12.013	3.398.241	0,00077	4,94	0,22	1.396,27
MÉDIA			0,00065	5,29	0,21	1.736,12

Observou-se queda na DDP de 1997 a 1999, em termos de metro cúbico bombeado, aumentando novamente em 2000. Essa queda e o respectivo aumento estão indicando que houve maior e menor bombeamento de água. Na DDP, por hectare irrigado, observou-se aumento de 1997 para 1998, caindo em seguida, evidenciando que houve aumento no volume bombeado de 1997 para 1998, que pode ter ocorrido devido a fatores climáticos ou por perdas de água em razão de excessos bombeados, evaporação, infiltrações e falta de programas de manejo nos lotes, uma vez que a área irrigada permaneceu praticamente constante (Tabela 8).

Com relação ao consumo de energia por metro cúbico, os valores diminuíram de 1997 para 1998 e aumentaram nos anos seguintes, indicando variações no consumo do metro cúbico bombeado. Os valores do consumo por hectare irrigado indicam que foi necessário maior consumo de energia para irrigar um hectare em 1998 e 1999, que caiu, consideravelmente, no ano de 2000. Como o aumento das áreas irrigadas não influenciou, o que ficou claro em 2000, que esteve com quase 100% de ocupação e obteve o menor consumo, esse fato

pode ser justificado, também, por um período bastante chuvoso no respectivo ano e, conseqüentemente, uma necessidade de irrigação menor ou por manejo inadequado nos anos anteriores (irrigações desnecessárias que resultam em maior consumo de energia). Esse resultado era esperado, pois os valores da RGC ficaram abaixo de 0,5, implicando alto consumo de água e de energia.

Nos perímetros irrigados até agora, não são cobradas tarifas de água. Quando começar a vigorar a Lei 9.433/97, com certeza maiores cuidados deverão ser tomados com perdas e desperdícios que, porventura, possam estar ocorrendo, principalmente porque, sendo a energia o fator mais representativo no custo total do perímetro, a diminuição dos valores relacionados à mesma indicará redução no custo variável, que incidirá sobre a tarifa de água.

4.5.2. Demanda de potência e consumo de energia no perímetro Senador Nilo Coelho

Na Tabela 17, apresentam-se os dados relacionados à energia do perímetro Senador Nilo Coelho, nos anos de 1991 a 2000, exceto no ano de 1993, por não estarem disponíveis no distrito.

Observou-se que a DDP por volume fornecido e por hectare irrigado apresentou valores oscilantes entre todos os anos analisados (1991 a 2000), com valores entre 0,00028 e 0,00092. O consumo de energia também apresentou o mesmo comportamento.

O aumento da SAI representa um avanço na ocupação do perímetro, propiciando maior uso do sistema de irrigação que, no caso do DISNIC, foi projetado para irrigar uma área de 15.000 ha. A capacidade de bombeamento é de $22 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (vazão total) e potência nominal de 14.400 CV. O fato de um maior uso do sistema de irrigação implica aumento da eficiência das EB's, que funcionam dentro da sua capacidade de trabalho, aumentando também o retorno econômico.

Segundo SOUZA (1999), embora o aumento da área irrigada e a conseqüente elevação do volume bombeado tenham sido os responsáveis por essa economia de energia, devem-se destacar outros fatores que também

Tabela 17 – Demanda de potência e consumo de energia do perímetro Nilo Coelho nos anos de 1991 a 2000

ANO	Demanda (kW)	Consumo (kWh)	Demanda de Potência		Consumo de Energia	
			(kW m ⁻³)	(kW ha ⁻¹)	(kWh m ⁻³)	(kWh ha ⁻¹)
1991	80.181	7.834.603	0,00092	12,08	0,0899	1.180,48
1992	50.598	10.787.503	0,00053	6,78	0,1123	1.446,05
1993	-	-	-	-	-	-
1994	39.301	12.675.155	0,00028	3,59	0,0895	1.156,47
1995	60.109	11.413.928	0,00050	5,10	0,0940	968,78
1996	50.716	11.298.166	0,00040	4,49	0,0899	999,74
1997	49.374	9.751.914	0,00042	4,23	0,0838	835,93
1998	64.885	18.689.070	0,00035	5,30	0,1000	1.527,71
1999	84.897	23.088.499	0,00047	5,82	0,1288	1.581,92
2000	68.866	14.831.937	0,00044	4,13	0,0941	890,01
MÉDI			0,00048	5,72	0,0976	1176,34

Fonte: adaptado de SOUZA (1999).

contribuíram de maneira decisiva, como: (i) instalação gradual de bombas automáticas, com conseqüente operação contínua e custo energético mais baixo entre as 21 e 5 h; (ii) melhoria no manejo da irrigação; (iii) mudança no tipo de sistema de irrigação nos lotes (aspersão convencional e irrigação localizada requerem menos energia que outros sistemas); e (iv) melhor operacionalização através do treinamento de canaleiros, inspetores de irrigação e a instalação de sensores ultra-sônicos, evitando perdas por transbordamento nos reservatórios e canais.

4.5.3. Comparação entre os perímetros

Os dados de energia (DDP e CEn), referentes aos dois perímetros, encontram-se na Tabela 18.

Tabela 18 – Demanda de potência e consumo de energia dos perímetros Paracatu/Entre Ribeiros I e Senador Nilo Coelho

ANO	PCPERI						DISNIC		
	Demanda de Potência (kW m ⁻³)		Consumo de Energia (kWh m ⁻³)		Consumo de Energia (kWh ha ⁻¹)	Demanda de Potência (kW m ⁻³)	Consumo de Energia (kWh m ⁻³)	Consumo de Energia (kWh ha ⁻¹)	
1991						0,00092	12,08	0,09	1180,48
1992						0,00053	6,78	0,11	1446,05
1993						-	-	-	-
1994						0,00028	3,59	0,09	1156,47
1995						0,00050	5,10	0,09	968,78
1996						0,00040	4,49	0,09	999,74
1997	0,00070	5,09	0,23	1672,88		0,00042	4,23	0,08	835,93
1998	0,00059	5,96	0,19	1924,47		0,00035	5,30	0,10	1527,71
1999	0,00055	5,19	0,21	1950,84		0,00047	5,82	0,13	1581,92
2000	0,00077	4,94	0,22	1396,27		0,00044	4,13	0,09	890,01
MÉDIA	0,00065	5,29	0,21	1.736,12		0,00048	5,72	0,098	1176,34

A DDP do DISNIC, com exceção do ano de 1991, apresentou valores inferiores aos do PCPER I, em termos de kW m^{-3} . Além do fato de os pivôs terem maior DDP, os volumes bombeados das EBP's influenciam os valores encontrados, e qualquer excesso bombeado terá interferência direta nesses valores. Essas diferenças podem estar relacionadas a fatores climáticos, como a falta de precipitação (média de 1.337 e 478 mm, PCPER I e DISNIC, respectivamente, nos anos estudados), o que demandaria maior quantidade de água para irrigação. Porém, pelos dados de precipitação, haveria necessidade de menor bombeamento de água no PCPER I do que no DISNIC, uma vez que aquele perímetro apresenta maiores valores de precipitação média. Os valores da RGC abaixo de 1,0 não indicam a necessidade de tal volume de água bombeado, demonstrando haver necessidade de melhores manejos nos lotes (melhor manejo, menor consumo de água e menor número de horas de bombeamento).

O consumo de energia (kWh m^{-3}) no PCPER I foi o dobro e o triplo, conforme o ano, daquele observado no DISNIC. Isso pode ser explicado pelo excesso de água bombeada pelos pivôs (mau manejo). Uma vez que a R_d pode ser considerada satisfatória para os dois perímetros e os dados da RGC apontam que não houve estresse hídrico, fica evidente um volume excessivo de água bombeada para os lotes; conseqüentemente, houve alto valor do kW ha^{-1} .

A DDP (kW ha^{-1}), no PCPER I, apresentava valores maiores, em comparação com os do DISNIC, certamente devido ao uso de sistemas de irrigação do tipo pivô central, que requer mais energia que os sistemas de aspersão convencional e de irrigação localizada, predominantes no DISNIC. Outros fatores que corroboram a assertiva de maiores gastos nos pivôs são os dados encontrados no consumo de energia, que no PCPER I são superiores aos encontrados no DISNIC. Esses dados evidenciam, mais uma vez, que houve excesso de bombeamento de água. A RGC também indicou maior bombeamento de água no PCPER I.

Como as tarifas do bombeamento de água (energia) se constituem na maior parcela dos custos totais dos perímetros, a redução desses números implica redução no custo variável que incide sobre a mesma.

4.6. Retorno econômico bruto unitário (REcBU)

4.6.1. Retorno econômico bruto unitário para o perímetro Paracatu Entre/Ribeiros I

Na Tabela 19, apresentam-se os valores do retorno econômico bruto unitário do perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I nos anos de 1997 a 2000.

Tabela 19 – Retorno econômico bruto unitário do perímetro Paracatu Entre/Ribeiros I nos anos de 1997 a 2000

ANO	VBP (U\$)	V_f (m³)	REcBU (U\$ m⁻³)
1997	6.484.050,90	17.117.323	0,38
1998	5.761.328,40	23.744.618	0,24
1999	3.423.713,60	22.382.753	0,15
2000	4.000.428,20	18.053.636	0,22
MÉDIA			0,36

Os valores da cultura no mercado não influenciaram os valores do valor bruto de produção (VBP), uma vez que todas as safras foram vendidas a preços semelhantes e algumas, como o milho, por preços pré-fixados.

Embora os valores em U\$ m⁻³ tenham decrescido, isso não significa queda no desempenho do perímetro, haja vista a valorização do dólar americano no período, que constitui um fator atenuante.

O padrão de cultivo manteve-se praticamente inalterado com a predominância, quase que total, da sucessão feijão/milho. O retorno econômico é maior à medida que diminui o V_f, para a mesma quantidade produzida, pois este está diretamente ligado ao custo da água. Quando o manejo é bem feito, o volume de água fornecido aos canais principais diminui e tende a diminuir o custo do bombeamento da água. Os dados de V_f em 1998 e 1999 indicaram

excesso de água bombeada, refletindo, também, na diminuição do retorno econômico unitário.

4.6.2. Retorno econômico bruto unitário do perímetro Senador Nilo Coelho

Os valores do retorno econômico bruto unitário do perímetro Senador Nilo Coelho, de 1993 a 1998, encontram-se na Tabela 20.

Tabela 20 – Retorno econômico bruto unitário do perímetro Senador Nilo Coelho nos anos de 1993 a 1998

ANO	VBP (U\$)	V_f (m³)	REcBU (U\$ m⁻³)
1993	27.711.038,00	149.702.503	0,19
1994	37.396.841,00	141.544.616	0,26
1995	54.616.850,00	121.421.920	0,45
1996	67.083.022,00	125.654.486	0,53
1997	73.485.937,00	116.342.416	0,63
1998	86.153.151,80	186.918.752	0,46
MÉDIA			0,42

Houve aumento progressivo de 1993 a 1997 de 0,19 a 0,63, respectivamente, caindo para 0,46 em 1998.

Observou-se aumento progressivo no VBP do DISNIC devido, possivelmente, à inversão na ocupação das áreas de culturas anuais para culturas perenes, verificada na SAI, apresentando maior retorno econômico.

Os valores de V_f diminuíram gradativamente de 1993 a 1997, porém aumentaram bastante em 1998, o que foi verificado também nos resultados da RGC, que cresceram até 1997, tornando a cair em 1998.

Os valores do REcBU podem, também, ter sido influenciados pelas culturas plantadas e, conseqüentemente, por seus preços de comercialização.

Apesar de 1998 ter tido o maior VBP, o REcBU caiu, igualando-se ao do ano de 1995. Isso ocorreu, possivelmente, devido ao volume elevado de água bombeada das EBP's, o qual diferiu consideravelmente daquele dos anos anteriores; ou ao dado de V_f , em cujo valor pode ter havido erro de registro.

4.6.3. Comparação entre os perímetros

Na Tabela 21, apresentam-se os valores do retorno econômico bruto unitário dos dois perímetros.

Tabela 21 – Retorno econômico bruto unitário dos perímetros Paracatu/Entre RIBEIROS I e SENADOR NILO COELHO

ANO	PCPER I U\$ m ⁻³	DISNIC U\$ m ⁻³
1993		0,19
1994		0,29
1995		0,50
1996		0,52
1997	0,38	0,64
1998	0,24	0,61
1999	0,15	
2000	0,22	
MÉDIA	0,36	0,42

Verificaram-se, no PCPER I, oscilações no RecBU, justificadas pelo excesso de água bombeada em 1998 e 1999. No DISNIC, houve aumento gradativo do retorno econômico, que pode ser explicado pelo aumento constante no VBP, uma vez que, ao contrário do PCPER I, os valores de V_f são justificados pelo aumento da área irrigada. A diferença no retorno econômico entre os perímetros também pode ser explicada pela diferença de preço entre a

comercialização de frutas (DISNIC) e de grãos (PCPER I). O valor comercial da fruta tipo exportação é maior do que o de grãos, mesmo que sejam sementes.

Ao longo do tempo, medidas (como o manejo da irrigação) podem ser tomadas objetivando reduzir custos e, conseqüentemente, aumentar o REcBU. O manejo racional de água para irrigação, que reduz o número de horas de bombeamento, implica diminuições no uso da energia, que se reflete nos custos. Portanto, havendo menores gastos com energia, conseqüentemente o retorno econômico será maior.

4.7. Relação global benefício/custo (RGBC)

4.7.1. Relação global benefício/custo do perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I

Os valores desta relação do PCPER I nos anos de 1997 a 2000 encontram-se na Tabela 22.

Tabela 22 – Relação global benefício/custo do perímetro Paracatu/Entre Ribeiros I nos anos de 1997 a 2000

ANO	REcBU (U\$ m⁻³)	Custo m³ água (U\$ m⁻³)	Razão
1997	0,38	0,009	42,22
1998	0,24	0,008	30,00
1999	0,15	0,006	25,00
2000	0,22	0,007	31,43
MÉDIA			32,50

Esse indicador mostra a proporção entre o benefício médio global (retorno bruto) e o custo do metro cúbico de água bombeado. O custo do bombeamento do metro cúbico, no caso do PCPER I, consiste, praticamente, no custo da energia, sendo único para todos os irrigantes.

Uma vez que o custo da água permaneceu em torno de R\$0,01 por metro cúbico, o retorno econômico foi o principal responsável pela oscilação dos valores da razão global benefício/custo.

Apesar da queda observada nos valores, a relação ainda é considerada alta.

4.7.2. Relação global benefício/custo do perímetro Senador Nilo Coelho

Para calcular essa relação no perímetro Senador Nilo Coelho, foram necessários os dados do custo médio total da tarifa da água para usuários com bombeamento próprio (com BP, lotes empresariais) e sem bombeamento próprio (sem BP, lotes familiares), nos anos de 1993 a 1998. Com esses valores, estimou-se o custo médio ponderado para os respectivos usuários.

Na Tabela 23, apresenta-se o custo médio ponderado da água no DISNIC, no período de 1993 a 1998.

Tabela 23 – Preço médio ponderado da água do perímetro Senador Nilo Coelho nos anos de 1993 a 1998

ANO	Custo Médio Total (U\$/1.000 m ³)		Custo Médio Ponderado (U\$/1.000 m ³)
	Com BP	Sem BP	
1993	7,73	14,11	11,56
1994	1,23	23,62	14,66
1995	1,60	35,25	21,79
1996	1,62	31,75	19,70
1997	1,56	28,28	17,59
1998	1,49	26,88	16,72

Fonte: adaptado de SOUZA (1999).

Os valores dos custos médios ponderados, juntamente com os de VBP unitários (valor bruto de produção, VBP, que foram transformados em VBP unitários), foram utilizados para determinar a relação global benefício/custo.

Os valores para o cálculo desta razão, para o perímetro Senador Nilo Coelho nos anos de 1993 a 1998, encontram-se na Tabela 24.

Tabela 24 – Relação global benefício/custo do perímetro Senador Nilo Coelho nos anos de 1993 a 1998

ANO	VBP Unitário (U\$ m⁻³)	Custo Médio Ponderado (U\$ m⁻³)	Razão
1993	0,19	0,01	16,02
1994	0,26	0,01	18,02
1995	0,45	0,02	20,64
1996	0,53	0,02	27,10
1997	0,63	0,02	35,90
1998	0,46	0,02	27,56
MÉDIA			24,21

Fonte: adaptado de SOUZA (1999).

O custo médio aumentou de U\$0,01 para U\$ 002 por metro cúbico a partir de 1995 e permaneceu constante até 1998. Como o perímetro tornou-se financeiramente auto-suficiente, os subsídios que eram aplicados sobre a parcela de amortização dos investimentos públicos foram retirados, provocando, assim, o referido aumento.

A razão acompanhou a tendência do VBP unitário aumentando e diminuindo de acordo com o ano em questão. A exemplo do PCPER I, o VBP unitário também é o responsável pela oscilação dos valores da relação global benefício/custo.

4.7.3. Comparação entre os perímetros

Na tabela 25, apresentam-se os valores da relação global benéfico/custo dos dois perímetros.

Tabela 25 – Relação global benefício/custo dos perímetros Paracatu/Entre Ribeiros I e Senador Nilo Coelho

ANO	PCPER I	DISNIC
1993		16,02
1994		18,02
1995		20,64
1996		27,10
1997	42,22	35,90
1998	30,00	27,56
1999	25,00	
2000	31,43	
MÉDIA	32,50	24,21

Comparando os valores da relação global benefício/custo dos dois perímetros, verificou-se que o PCPER tem um benefício/custo maior que o do DISNIC, mesmo tendo sido influenciado pelos baixos valores do REcBU. Isso pode ter ocorrido em razão do custo mais baixo do bombeamento da água, o que, aparentemente, é um fator preponderante; dos baixos custos de produção; ou de ambos os fatores. Outro fator é que à medida que o manejo melhora, há tendência de ter maior retorno econômico, o que aumenta a relação; porém, outros indicadores, a exemplo da RGC e da DDP, comentados anteriormente, contradizem essa idéia, apresentando valores que indicam necessidade de melhores manejos.

A partir do momento em que forem cobradas tarifas sobre a água (além dos custos de bombeamento), os valores da RGBC, a exemplo do REcBU, tenderão a diminuir, sendo essas tarifas o principal fator responsável pela queda; essa cobrança terá grande impacto. O preço da água determinará o racionamento do seu uso. O agricultor deverá produzir, pelo menos, a mesma quantidade, porém com menos água, para conseguir manter o mesmo retorno econômico. Portanto, obrigatoriamente, terá de fazer um plano de manejo, para que essa água seja usada de maneira racional.

Essa cobrança, entretanto, será mais uma despesa para o produtor que terá de ser incluída nos custos de produção, o que, conseqüentemente, refletirá no seu retorno econômico. No entanto, o manejo adequado da água poderá proporcionar redução dos gastos com energia, relacionados ao bombeamento das EBP's para os canais principais.

4.8. Análise crítica de cada indicador

4.8.1. Razão global de consumo (RGC)

O cálculo desse indicador depende da determinação do volume de água necessário para a cultura (V_m) e do volume de água bombeada da EBP para os canais (V_f).

O valor de V_m é determinado pela diferença $ET_p - P_e$ e pode variar tanto de um local para outro quanto pela maneira como será determinado. A metodologia utilizada para determinar tais fatores influencia diretamente os valores encontrados.

Valores confiáveis e precisos de V_f dependerão da precisão com que são feitas as leituras ou medições das vazões bombeadas pela EBP. Quando há algum tipo de medidor de vazão, isso deixa de ser um problema, e esta é obtida facilmente. Caso não haja esse medidor, as vazões poderão ser estimadas através de medições diretas, o que é mais trabalhoso.

O medidor de vazão é um indicador importante, pois permite saber a proporção do volume de água bombeada que está sendo utilizada pelas culturas, porém pode ser considerado trabalhoso por ocasião da determinação de V_m , principalmente no caso de culturas anuais. Espera-se mais ênfase na parte relacionada ao sensoriamento remoto, para que o mesmo se torne mais fácil de ser determinado e se obtenham valores mais precisos.

Os valores de evapotranspiração, imprescindíveis no dimensionamento e monitoramento da agricultura irrigada, podem ser apresentados em mapas temáticos, facilitando a utilização e o entendimento pelo usuário. A combinação

de informações provenientes de diferentes mapas é possível com o SIG, possibilitando a manipulação e o armazenamento dessas informações.

Neste trabalho estão sendo considerados valores satisfatórios desse indicador entre 0,8 e 1,0, uma vez que valores abaixo de 1,0 indicam que as culturas não estão sofrendo "deficits" de água e acima de 1,0, que a cultura deve estar com "deficit" hídrico.

4.8.2. Razão de suprimento (R_d)

Para determinar esse indicador, utilizam-se os mesmos valores de V_f do indicador RGC.

Determina-se o V_d através do volume de água fornecida para cada lote. Essas medidas também podem ser facilmente obtidas através de medidores de vazão. Caso não haja nenhum medidor, pode-se determinar a vazão através da lâmina aplicada na área em questão.

Trata-se de um indicador de fácil determinação que permite verificar como está sendo o desempenho do perímetro quanto à operação das estruturas. Seus valores podem ser considerados ótimos quando próximos de 1, sendo em torno de 0,8 aceitos como satisfatórios.

4.8.3. Sustentabilidade da área irrigada (SAI)

Este indicador pode ser considerado o mais fácil de ser determinado, uma vez que basta saber a área que está sendo irrigada e a que é irrigável, ou seja, pode-se saber como está se dando a taxa de ocupação do perímetro.

A SAI pode ser alterada com o tempo, uma vez que as áreas irrigada e irrigável podem variar com o tempo, devendo, portanto, ser monitorada constantemente. Assim, a mesma deve ser interpretada com o passar do tempo.

O ciclo das culturas é outro fator que pode interferir nesse indicador: áreas com culturas perenes e áreas com culturas anuais, onde a rotação é constante, tendem a ter valores de SAI elevados.

A exemplo da R_d , seus valores podem ser considerados ótimos quando próximos de 1, sendo considerados satisfatórios em torno de 0,8.

4.8.4. Fração de operação e manutenção (FOM)

A fração de operação e manutenção pode ser determinada facilmente se os dados de custos anuais de operação e manutenção e o orçamento total do distrito estiverem disponíveis. Uma das dificuldades para sua determinação é a separação dos valores dos custos anuais de operação e manutenção nas planilhas dos custos totais.

Este indicador é considerado importante por ressaltar os gastos com despesas de operação e manutenção. Em áreas irrigadas menores, esperam-se menores valores do que em áreas maiores. Caso ocorra o contrário, ele pode indicar problemas com relação ao gerenciamento. Por exemplo, os valores elevados da FOM em um perímetro de irrigação por gravidade implica mau gerenciamento, porque se esperam baixos gastos com operação e manutenção nesses sistemas, uma vez que o consumo de energia pode ser nulo.

Os gastos de um projeto já instalado devem estar voltados para operação e manutenção. Se os valores da FOM são altos, eles indicam que no projeto estão ocorrendo gastos voltados para operação e manutenção e não com despesas extras (despesas que não estão voltadas para operação e manutenção do projeto). Portanto, valores elevados da fração podem estar indicando um bom gerenciamento do perímetro.

4.8.5. Energia

Os indicadores de demanda de potência e consumo de energia podem ser facilmente determinados das contas de energia do distrito e dos valores de V_f e da área irrigada, já utilizados em indicadores comentados anteriormente.

Como a água é considerada insumo fundamental para o desenvolvimento da agricultura irrigada, recomenda-se trabalhar com os indicadores em função do volume fornecido em vez da área irrigada.

4.8.6. Retorno econômico bruto unitário (REcBU)

Para determinação do retorno econômico bruto unitário, é necessário conhecer o valor bruto de produção. A maior parte dos dados para determinar esse fator é baseada em dados estimados ou em amostragens, uma vez que é difícil a obtenção dos valores reais da produção por área colhida e dos preços de comercialização dos produtos nos perímetros.

Este indicador é trabalhoso quanto à coleta dos dados para determinação do VBP. Ele representa o ganho bruto médio (retorno) que o perímetro obtém por metro cúbico de água bombeado.

O VBP representa o valor da produção global, sem considerar gastos com insumos, defensivos, adubos, preparo do solo e outros. Os valores dos produtos no mercado influenciam diretamente o VBP.

Os retornos brutos (receitas) foram relacionados ao metro cúbico de água. Assim, é possível saber qual o retorno econômico obtido por metro cúbico utilizado, para que se possa justificar seu uso para irrigação ou outras finalidades, em razão de a água estar se tornando um bem escasso. Isso torna este indicador importante para a gestão adequada ou eficiente de perímetros de irrigação, porém sua determinação é complexa e merecedora de cuidados.

4.8.7. Relação global benefício/custo (RGBC)

Determinar a relação global benefício/custo torna-se fácil, uma vez que esta é a razão entre o retorno econômico bruto unitário e o custo do bombeamento do metro cúbico da água.

Este indicador permite saber o benefício/custo dos perímetros, ou seja, quanto se está ganhando (bruto) em relação ao que foi gasto para fornecer/bombear água.

A determinação deste indicador, ao longo do tempo, possibilitará que se observe um valor que, quando apresentar repetição constante, seja considerado comum. Assim, será possível estabelecer algum limite aceitável para esse valor.

Ainda não se têm valores de referência ou quanto se espera obter em um perímetro. Com o tempo, pretende-se verificar o que passa a ser comum e, assim, será possível inferir algum limite aceitável para este indicador.

4.9. Valores médios dos indicadores dos três Perímetros

Na Tabela 26, apresenta a média dos valores dos anos de 1997 e 1998 para cada indicador dos três perímetros estudados.

Tabela 26 – Valor médio dos anos de 1997 e 1998 para cada indicador dos três perímetros estudados

Indicador			Perímetros		
			PCPER I	DISNIC	DIJ
RGC			0,37	0,70	0,74
R _d			0,84	0,95	-
SAI			0,96	0,78	0,50
FOM			0,67	-	0,32
Energia	DDP (kW)	m ³	0,0065	0,00042	-
		ha	5,30	4,87	
	CE _n (kWh)	m ³	0,21	0,10	
		ha	1736,12	1208,89	
REcBU (US\$ m ⁻³)			0,31	0,55	-
RGBC			36,11	31,73	-

Os dados utilizados para encontrar os valores médios foram somente os de 1997 e 1998, uma vez que foram os únicos anos comuns aos três perímetros.

A razão global de consumo médio do DIJ (0,74) foi superior à do DISNIC (0,70) e à do PCPER I (0,37), indicando melhor aproveitamento da água naquele perímetro. No caso do PCPER I, o valor indica excesso de água bombeada além dos requerimentos globais da cultura.

No indicador razão de suprimento, do ponto de vista de canais, houve bom desempenho, estando o DISNIC melhor que o PCPER I quanto à operação dos canais.

Em termos de ocupação (SAI), o PCPER I está com quase 100% de sua área ocupada, seguido do DISNIC e do DIJ, com 78 e 50%, respectivamente. No DIJ, os valores diminuíram nos anos de 1997 e 1998, influenciando, conseqüentemente, o valor médio.

Os valores médios da fração de operação e manutenção foram maiores no PCPER I do que no DIJ, indicando melhor gerenciamento naquele perímetro.

Nos indicadores de energia, tanto em termos de DDP quanto em consumo de energia, o PCPER I apresentou valores maiores do que o DISNIC. Portanto, para operar a EBP do PCPER I foi preciso maior DDP do que no DISNIC. Essa demanda está diretamente ligada ao tipo de sistema de irrigação. Pelos dados da DDP ha⁻¹ irrigado, verificou-se que o volume bombeado na EBP foi maior no PCPER I. O consumo de energia no PCPER I para bombear água e para irrigar foi maior que no DISNIC. Esse consumo aumentava à medida que também aumentava o volume bombeado pela EBP para os canais principais (V_f). Portanto, qualquer excesso bombeado implicará maior consumo de energia.

O valor médio do retorno econômico bruto unitário foi maior no DISNIC do que no PCPER I. O V_f tem influência direta no retorno econômico, uma vez que o custo do bombeamento da água está diretamente ligado a ambos. Outro fator que influenciou o RecBU foi o preço de comercialização dos produtos (frutíferas no DISNIC e grãos no PCPER I).

A relação global benefício/custo foi maior no PCPER I. Gastos menores com o bombeamento da água e os baixos custos de produção foram os fatores responsáveis pelo maior retorno.

4.10. Análise crítica geral

Observou-se interdependência entre os indicadores de desempenho, conforme discutido anteriormente cada um deles.

Como os indicadores foram determinados de maneira global, isso permitirá que seja feita uma avaliação global do perímetro, que tornará possível a tomada de medidas para gestão do mesmo. Assim, os indicadores permitirão melhor gerenciamento e, através deles, poderão ser tomadas medidas para um melhor desempenho de todo o perímetro.

A metodologia permite observar o desempenho dos projetos ao longo do tempo. Sugere-se que seja dada continuidade à coleta de dados para que, com o tempo, os indicadores sejam ajustados. Como os indicadores são novos, não há valores que sirvam de comparação, portanto há necessidade de se buscarem valores de referência para os mesmos. Pretende-se que todos os indicadores sejam uma razão. Os que possuem unidades somente poderão ser transformados em razões adimensionais quando a experiência adquirida permitir estabelecer limites aceitáveis para os parâmetros usados.

A parte ambiental tem sido motivo de muita preocupação nos últimos anos. Portanto, percebe-se que há necessidade de buscar um ou mais indicadores voltados para essa questão, principalmente devido às cobranças da sociedade nesse sentido.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Com o objetivo de avaliar o desempenho de três perímetros irrigados, de maneira global e quantitativa, e visando contribuir para a consolidação de uma metodologia para tal fim, foram utilizados os indicadores: razão global de consumo (RGC), razão de suprimento (R_d), sustentabilidade da área irrigada (SAI), fração de operação e manutenção (FOM), energia (demanda de potência (DDP) e consumo de energia (CEn)), retorno econômico bruto unitário (REcBU) e relação global benefício/custo (RGBC). Os perímetros irrigados avaliados foram: Projeto de Colonização Paracatu/Entre Ribeiros (PCPER I), Distrito de Irrigação Jaíba (DIJ) e Distrito de Irrigação Senador Nilo Coelho (DISNIC), localizados no noroeste e norte de Minas Gerais e no sudoeste de Pernambuco, respectivamente. Os dados utilizados para determinar os indicadores compreendem os anos de 1997 a 2000 (PCPER I), 1995 a 1998 (DIJ) e 1990 a 2000 (DISNIC). Para efeitos comparativos, foram utilizados os anos de 1997 e 1998, anos comuns aos três perímetros. Os resultados encontrados permitiram chegar às seguintes conclusões:

A razão global de consumo apresentou valores máximos de 0,39; 0,56; e 0,75 no PCPER I, DISNIC e DIJ, respectivamente.

Para a razão de suprimento, os valores encontrados foram de 0,84 para o PCPER I e de 0,96 para o DISNIC.

Dos três perímetros estudados, o PCPER I apresentou a melhor taxa de ocupação, seguido do DISNIC e do DIJ, com os valores de 0,97; 0,64; e 0,52, respectivamente.

Os dados da fração de operação e manutenção foram de 0,69 no PCPER I e 0,29 no DIJ.

Os valores dos indicadores associados com a energia do PCPER I foram de 0,00065 kw m⁻³ e 5,29 kW ha⁻¹ para a demanda de potência e 0,21 kWh m⁻³ e 1736,12 kWh ha⁻¹ para o consumo de energia. No DISNIC, foram encontrados os valores de 0,00048 kW m⁻³ e 5,72 kW ha⁻¹ para a demanda de potência e 0,098 kWh m⁻³ e 1176,34 kWh ha⁻¹ para o consumo de energia.

O retorno econômico bruto unitário apresentou valores de 0,36 U\$ m⁻³ e 0,42 U\$ m⁻³ no PCPER I e DISNIC, respectivamente.

O PCPER I apresentou benefício/custo global bruto maior do o DISNIC. Os valores das razões foram de 32,50 e 24,21, respectivamente.

Ficou evidente a interdependência entre os indicadores, o que é desejável na metodologia utilizada.

A determinação dos indicadores de maneira global permitiu a tomada de medidas gerenciais para melhorar o desempenho dos perímetros analisados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **Water quality for agriculture (revised)**. [S. l.]: FAO, 1985. 174 p. (Irrigation and drainage paper, n. 29).

BASTIAANSSEN, W.G.M. **Remote sensing in water resources management: the state of the art**. Colombo, Sri Lanka: IWMI, 1998. 118 p.

BASTINGS, I.W.A. **Application of modified-Upstream-control for the Paracatu/Entre Ribeiros Irrigation Scheme**. Delft: DUT, 1999. 94 f. (Masters thesis) – Delft University of Technology, Delft.

BELTRAME, L.F.S.; LOUZADA, J.A.S.; LANNA, A.E.L. **Evapotranspiração potencial do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, RS: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 1994. 49 p. (Recursos Hídricos, 31).

BERLATO, M.A.; MOLION, L.C.B. **Evaporação e evapotranspiração**. Porto Alegre: IPAGRO, 1981. 95 p. (Boletim Técnico, 7)

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1995. 657 p.

BOS, M. G. Performance indicators for irrigation and drainage. **Irrigation and Drainage Systems**, Netherlands, v.11, p.119-137, 1997.

BOS, M. G. Why would we use a GIS database and remote sensing in irrigation management? In: DIJK A. van; BOS, M.G. (Eds.). **GIS and remote sensing techniques in land and water management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 92 p.

BOS, M. G. MURRAY-RUST, D.H.; MERREY, D.J.; JOHNSON, HG; SNELLEN, W.B. Methodologies for assessing performance of irrigation e drainage management. **Irrigation and Drainage Systems**, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, v.7, n.4, 1993.

BOS, M. G. VOS, J.; FEDDES, R.A. **CRIWAR 2.0**: a simulation model on crop irrigation water requirement. Wageningen: ILRI, 1996. 117 p. (Publication, 46).

BRITO, R. A. L. Avaliação do desempenho de um perímetro irrigado: proposta para um modelo conceitual. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 7, 1986, Brasília. **Anais...** Brasília, DF: ABID, 1986. v.3, p.749-775.

BRITO, R.A.L. Ajuste de modelos para avaliação de desempenho de projetos e sistemas de irrigação. **EMBRAPA**. [S. l.]: SINSEP 2.0, 1999. (Subprojeto 12, 0, 99, 022, 02).

BRITO, R.A.L.; BOS, M.G. Irrigation performance assessment in Brazil. **Inception/Implementation Report**, Sete Lagoas, MG: EMBRAPA, 1997. 28 p.

CARVALHO, D.F.; BONOMO, R.; GRIEBLER, N.P.; RIBEIRO, A. Estimativa da demanda máxima de irrigação para a cultura do milho (*Zea mays* L.), na bacia do Rio Verde. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 22, n. 1, p. 97-104, 1998.

CARVALHO F^o, F. B. **Indicadores de desempenho para o Projeto Jaíba**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2000. p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

DENMEAD, O.T.; SHAW, R.H. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. **Agron. J.**, v. 54, p. 385-394, 1962.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193 p. (FAO irrigation and drainage, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, J.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1984. 179 p. (FAO irrigation and drainage, 24).

FAO - Food and Agriculture Organization. **Cropwat for windows**: user guide, version 4.2. [S. l.]: FAO/University of Southampton, 1997. 43 p.

FARIA, R.A. **Demanda de irrigação suplementar no estado de Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1998. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

FERREIRA, P.A. **Qualidade de água e manejo água-plantas em solos salinos**. Brasília, DF: ABEAS; Viçosa, MG: UFV, Departamento de Engenharia Agrícola, 1999. 89 p. (ABEAS – Curso de Engenharia e manejo de irrigação. Módulo, 10).

HASHMI, M.A.; GARCIA, L.A.; FONTANE, D.G. Espatial estimation of regional crop evapotranspiration. **Trans. ASAE**, v. 38, n. 5, p. 1345-1351, 1995.

ILRI – International Institute for Land Reclamation and Improvement. **CRIWAR 2.0**: a simulation model on crop irrigation water requirements. Wageningen, Netherlands: ILRI, 1996. 117 p. (Publication, 46).

KLAR, A.E. **A água no sistema solo-plantas-atmosfera**. São Paulo: Nobel, 1984.

KLOEZEN, W.H.; GARCÉS-RESTREPO, C. **Evaluación del desempeño del riego com indicadores comparativos**: el caso del distrito de Riego Alto Río Lerma, México. Colombo, Sri Lanka: IWMI, 1998. 39 p. (Informe de Investigación, 21).

LEVINE, G.; GALVAN CRUZ, A.; GARCIA, D. et al. **Performance of two transferred modules in the Lagunera Region**: water relations. Colombo, Sri Lanka: IWMI, 1998. 15 p. (Research Report, 23).

MANTOVANI, E.C.; COSTA, L.C. SISDA – **Sistema de suporte à decisão agrícola**. Viçosa, MG: UFV, DEA, 1997.

MOLDEN, D.J.; SAKTHIVADIVEL, R.; PERRY, C.J.; FRAITURE, C.; KLOEZEN, W.H. **Indicators for comparing performance of irrigated agricultural systems**. Colombo: IIMI, 1998. 26 p. (Research Report, 20).

PALMER, J.D.; CLEMMENS, A.J.; DEDRICK, A.R. Field study on irrigation delivery performance. **J. Irrigation and Drainage Eng.**, v.117, n. 4, p. 567-577, 1991.

PREVEDELLO, C.L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba, PR, C.L. PREVEDELLO, 1996. 446 p.

QUAGLIA, A.M.L.; BASTOS, E.A.; MORENO, J.S.; NASCIMENTO, R.Q. **Projeto de irrigação Vale do Mossangano (Senador Nilo Coelho)**. Brasília, DF: [s. n.], 1989. 154 p. (Relatório de Avaliação Ex-Post).

RENAULT, D. Offtake sensitivity, operation effectiveness, and performance of irrigation system. **J. Irrigation and Drainage Eng.**, v.125, n. 3, p. 137-147, 1999.

RYMSHAW, E. **Análises del desempeño de la irrigación en los distritos de riego Bajo Río Bravo y Bajo Río San Juan, Tamaulipas, México**. México, D. F. México: IIMA, 1998. 44 p. (IWMI, Serie Latinoamericana, n. 1).

SANTOS, J. R. M. Irrigar é preciso. **Agroanalysis**, Rio de Janeiro, v.18, n.3, p.29-34, 1998.

SMALL, L.; SVENDSEN, M. **A framework for assessing irrigation performance**. Washington: International Food Policy Research Institute, 1992. (IFPRI Working Papers on Irrigation Performance, 1).

SOUZA, G.H.F. **Indicadores de desempenho para avaliação de perímetros irrigados**: o caso do distrito de irrigação Senador Nilo Coelho. Campina Grande, PB: UFPa, 1999. 61 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.