PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA POLITÉCNICA E DE ARTES / ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO
Trabalho Conclusão de Curso II

Ângela Mendes de Araújo

ESTUDO DE ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA EM SISTEMAS DE PIVÔ CENTRAL NO ESTADO DE GOIÁS

Trabalho de Conclusão de Curso II como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Controle e Automação apresentado à Pontifícia Universidade Católica de Goiás.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Antônio Marcos de Melo Medeiros – Orientador.
Pontifícia Universidade Católica de Goiás-PUC GOIÁS.

Prof. Dr. Felipe Corrêa Veloso dos Santos – Membro convidado.
Pontifícia Universidade Católica de Goiás- PUC GOIÁS.

Prof. Dr. Calos Leandro Borges da Silva – Membro convidado.
Instituto de Pós-graduação e Graduação - IPOG

Goiânia, 16 de dezembro de 2024.

ESTUDO DE ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA EM SISTEMAS DE PIVÔ CENTRAL NO ESTADO DE GOIÁS

Ângela Mendes de Araújo [1], Antônio Marcos Melo Medeiros [2], Felipe Correa Veloso dos Santos [3], Carlos Leandro Borges da Silva [4]

[1]Pontifícia Universidade Católica, Goiânia, Goiás, Brasil, 20171011800610@pucgo.edu.br

[2]Pontifícia Universidade Católica, Goiânia, Goiás, Brasil, marcosmelo@pucgoias.edu.br

[3]Pontifícia Universidade Católica, Goiânia, Goiás, Brasil, felipesantos@pucgoias.edu.br

[4]Instituto de Pós-graduação e Graduação, Goiânia, Goiás, Brasil, carlosleandro82@gmail.com

RESUMO/RESUMEN/ABSTRACT: Este estudo analisa o potencial de economia de energia elétrica em sistemas de pivô central no estado de Goiás, com foco em práticas que possam reduzir custos operacionais e promover uma irrigação mais sustentável. A pesquisa utiliza dados operacionais detalhados, organizados na Tabela 1 de Custo Operacional, que incluem variáveis como potência, volume de água bombeado e horários de operação. A análise abrange comparações entre os períodos diurno e noturno, considerando as tarifas horo-sazonais e os custos adicionais do sistema de recalque. Os resultados mostram que a irrigação noturna pode reduzir os custos, devido as tarifas reduzidas, o que se revela vantajoso especialmente para operações de maior escala. Além disso, o estudo identifica a eficiência dos sistemas de pivô com maior potência, que, apesar de apresentar um custo operacional mais elevado, possuem vantagem pelo alcance de área irrigada e pela aplicação uniforme da água. A metodologia adota uma abordagem quantitativa, simulando cenários de alta e baixa demanda hídrica para avaliar o impacto das condições sazonais sobre os custos operacionais. Conclui-se que práticas baseadas em planejamento de horários, escolha de equipamentos eficientes e integração com sistemas de automação podem contribuir para uma gestão mais econômica dos recursos energéticos, promovendo benefícios para os produtores e incentivando uma agricultura mais sustentável.

Palavras chaves/Palabras claves/Keywords: *Irrigação, Eficiência Energétical, Custos Operacionais, Sustentabilidade*

ABSTRACT/ABSTRACT/RESUMO: This study analyzes the potential for electrical energy savings in central pivot irrigation systems in the state of Goiás, focusing on practices that can reduce operational costs and promote more sustainable irrigation. The research utilizes detailed operational data, organized in the Irrigation Cost Table, which includes variables such as equipment power, pumped water volume, and operating hours. The analysis compares daytime and nighttime irrigation periods, considering seasonal tariffs and the additional costs of the booster system. Results show that nighttime irrigation can reduce costs by up to 15%, taking advantage of lower tariffs, which is especially beneficial for larger-scale operations. Furthermore, the study highlights the efficiency of higher-power pivot systems, which, despite higher operational costs, compensate through greater irrigated area coverage and more uniform water application.

The methodology employs a quantitative approach, simulating scenarios of high and low water demand to assess the impact of seasonal conditions on operational costs. The conclusion is that practices based on scheduling, the selection of efficient equipment, and integration with automation systems can contribute to more rational energy resource management, providing economic benefits for producers and encouraging more sustainable agriculture.
Keywords/Keywords/Palavras Chaves: *Irrigation, Energy Efficiencyt, Operational Costs, Sustainability*

1. Introdução

A eficiência energética em sistemas de irrigação, como os pivôs centrais, tem se tornado prioridade na agricultura moderna devido o aumento dos custos de energia elétrica e à crescente demanda por práticas sustentáveis. No estado de Goiás, onde a agricultura irrigada é uma das principais atividades econômicas, otimizar o custo de energia nos sistemas de irrigação pode gerar benefícios econômicos significativos para os produtores e contribuir para a sustentabilidade ambiental. Estudos mostram que o consumo de energia elétrica em sistemas de irrigação representa parcela considerável dos custos operacionais, o que torna necessária a adoção de estratégias que visem à economia de energia sem comprometer a produtividade [1].

Fundamentando-se na literatura existente sobre eficiência energética e otimização de custos em sistemas agrícolas, este estudo adota abordagem quantitativa e descritiva. Pesquisas anteriores indicam que o ajuste dos horários de irrigação e a escolha adequada dos equipamentos podem resultar em economias significativas, especialmente em regiões onde as tarifas horo-sazonais oferece diferença expressiva entre os períodos diurnos e noturnos [3]. Através dessa análise, espera-se identificar práticas operacionais que possam contribuir para a redução dos custos em sistemas do tipo pivô central.

A economia de energia elétrica em sistemas de irrigação é particularmente relevante em cenários onde os custos energéticos representa parte significativa do orçamento operacional. No caso dos sistemas de pivô central, a adoção de horários de irrigação no período noturno pode reduzir significativamente o custo de operação devido às tarifas ser menores, conforme indicado por estudos anteriores que analisam práticas de otimização energética [1]. Esse ajuste no horário de operação, quando implementado de forma estratégica, permite que os produtores aproveitem as diferenças tarifárias para minimizar os custos, tornando a prática de irrigação economicamente viável.

Além do horário de funcionamento, a escolha da potência e a configuração dos equipamentos de irrigação exerce influência direta sobre os custos de operação. A Tabela 1 de Custo de Operacional fornece base de dados essencial para a análise desses custos em diferentes cenários, permitindo visão abrangente dos impactos financeiros das diversas variáveis operacionais. Essa análise é embasada em estudos que destacam a importância de uma abordagem meticulosa na escolha e no manejo dos equipamentos, visando maximizar a eficiência do uso de recursos energéticos [2][3].

Este estudo tem como objetivo analisar o potencial de economia de energia elétrica em sistemas de pivô central no estado de Goiás, simulando período crítico de seca, abordando variáveis operacionais como o horário de funcionamento, o custo operacional por hectare no ciclo, custo mensal da demanda e o custo total de energia elétrica, com diferentes potências de equipamentos e o volume de água bombeado. A análise será fundamentada na Tabela 1 de Custo de Operacional, que consolida dados sobre os custos operacionais em quatro pivôs com diferentes potencias, considerando tanto os sistemas de pivô quanto os de recalque. Através dessa base teórica, espera-se que as recomendações apresentadas neste estudo possam contribuir para a adoção de práticas agrícolas mais eficientes com maior viabilidade econômica.

2. Metodologia

Para avaliar o potencial de economia de energia em sistemas de pivô central, este estudo utiliza entre as ferramentas usadas, destaca-se a metodologia apresentada por Medeiros (2005). O programa foi incorporado devido a sua eficiência em calcular a economia de energia elétrica em sistema de pivô central alinhando-se diretamente aos objetivos propostos.[5] A redução de custo de energia elétrica faz uma abordagem descritiva e quantitativa, que combina análise de dados operacionais com cálculos de custo. A metodologia baseia-se nos princípios de análise de eficiência energética descritos em estudos sobre otimização de sistemas agrícolas, os quais recomendam o uso de dados reais para aprimorar a gestão de recursos e reduzir custos operacionais [3][4]. A utilização de dados consolidados na Tabela 1 de Custo Operacional oferece uma base sólida para calcular indicadores-chave, como o custo por hectare irrigado e o custo total de energia elétrica no ciclo para cada pivô.

2.1 Para calcular o custo por metro cúbico por hectare, utiliza-se (Equação 1)

$$C_m = \frac{V_m}{C_{total}} \qquad (1)$$

Em que,

Cm = Custo por milímetro cúbico por hectare;

Ctotal = Custo total de energia no ciclo;

Vm = Volume milimétrico cúbico por hectare no ciclo.

2.2 O custo diário de energia elétrica e determinado (Equação 2)

$$C = P \cdot T \cdot H \qquad (2)$$

Em que,

C = Custo diário (em R$);

P= Potência consumida (em kW);

T = Tarifa por kWh (em R$/kWh);

H = Horas de funcionamento (diurno /noturno).

2.3 O custo total de energia elétrica no ciclo da cultura para cada pivô é calculado pela (Equação 3)

$$CT = \sum_{m=1}^{5} [(T_{n,m} \cdot P \cdot H_{n,m} \cdot D_{n,m}) + (T_{d,m} \cdot P \cdot H_{d,m} \cdot D_{d,m} \cdot C_v) + C_f]$$

Onde,

m- Representa os meses (novembro a março, totalizando 5 meses);

$T_{n,m}$ - Tarifado horário noturno no mês (m);

P - Potência total (Kw);

$H_{n,m}$ - Horas de funcionamento noturno no mês (m);

$D_{n,m}$ - Dias de irrigação noturna no mês (m);

$T_{d,m}$ - Tarifa horo sazonal verde no mês (m);

$H_{d,m}$ - Horas de funcionamento diurno n mês (m);

$D_{d,m}$ - Dias de irrigação diurna no mês (m);

C_v - Custo mensal da demanda horo sazonal verde;

C_f - Custo fixo mensal de demanda.

A análise de custo foi conduzida considerando as variáveis operacionais relevantes, incluindo potência dos equipamentos, volume de água bombeado e horários de funcionamento, em conformidade com as práticas recomendadas para estudos de eficiência energética em irrigação [2]. Para embasar os cálculos, foi utilizado referências metodológicas que abordam o uso de dados empíricos em avaliações de custo-benefício, como sugerido por autores especializados em métodos quantitativos para estudos aplicados na agricultura [13].

A análise foi realizada por meio de abordagem comparativa, onde os dados da Tabela 1 de Custo de Operacional foi utilizado para calcular o custo por milímetro de lâmina de água aplicado e o custo por hectare irrigado. Estudos de transição energética indicam que esses indicadores são cruciais para medir a eficiência de sistemas de irrigação, pois fornecem uma visão clara do consumo de energia em relação ao volume de água distribuído e à área coberta [4]. Essa abordagem permite uma avaliação precisa do desempenho dos sistemas, alinhando-se às práticas metodológicas recomendadas para estudos que buscam otimização de recursos [7].

Além disso, a metodologia incluiu análise de cenários sazonais, contemplando períodos de maior demanda hídrica, como os meses de seca, onde o volume de água bombeado é elevado. Essa simulação de cenários sazonais permite identificar estratégias de manejo para períodos críticos, o que está em consonância com metodologias que utilizam dados de variabilidade sazonal para promover a sustentabilidade na gestão de recursos hídricos e energéticos [8].

Este estudo adota abordagem quantitativa e descritiva, com elementos exploratórios para avaliar o consumo de energia elétrica em sistemas de pivô central e identificar oportunidades de economia de energia elétrica sem prejudicar a eficiência da irrigação.

A população alvo será composta por propriedades rurais que utilizam sistemas de irrigação por pivô central, sendo a amostra formada por propriedades no estado de Goiás.

Os critérios de inclusão englobam propriedades que utilizam pivôs centrais há pelo menos a dez anos e que mantém registros de consumo de energia elétrica. Os dados serão coletados através dos históricos de consumo de energia elétrica obtido através de fatura da concessionária local. Também serão considerados dados climáticos, obtidos através do sistema do INMET.

A análise dos dados será realizada de forma quantitativa, comparando os consumos energéticos em diferentes condições, como sazonalidade e horários de operação. O uso do método quantitativo justifica-se pela sua capacidade de mensurar o impacto de diferentes estratégias no consumo de energia elétrica, contudo reconhecem-se limitações, como a dificuldade de acesso a dados completos em propriedades privadas e possíveis variações climáticas que podem afetar o uso dos sistemas.

Tabela 1: Custo Operacional

ESTIMATIVA DE CUSTO OPERACIONAL PIVÔS

Pivô	Área Irrigada (há)	Potência (cv)	Pot. Pivô (cv)	Potência (kw)	Func. Diurno (hrs)	Func. Noturno (hrs)	Efic. Irrigação	Lamina (mm)	Vazão (M^3/h)	Horo-sazonal verde	Tarifa horário noturno	Tarifa demanda (R$/kw)	Custo mensal da demanda
1	87,95	25	1	20,69	8,5	12,5	0,9	9	52	R$ 2,10	R$ 0,35	R$ 27,09	R$ 560,49
2	59,77	125	8	105,84	8,5	12,5	0,9	7,5	225	R$ 2,10	R$ 0,35	R$ 27,09	R$ 2 867,15
3	38,27	60	7	53,32	8,5	12,5	0,9	9,4	180	R$ 2,10	R$ 0,35	R$ 27,09	R$ 1 444,35
4	72,41	200	9	166,32	8,5	12,5	0,9	9,3	280	R$ 2,10	R$ 0,35	R$ 27,09	R$ 4 505,61

Pivô	Dias Irrigação Noturna - Novembro	Dias Irrigação Diurna - Novembro	Dias Irrigação Noturna - Dezembro	Dias Irrigação Diurna - Dezembro	Dias Irrigação Noturna - Janeiro	Dias Irrigação Diurna - Janeiro	Dias Irrigação Noturna - Fevereiro	Dias Irrigação Diurna - Fevereiro	Dias Irrigação Noturna - Março	Dias Irrigação Diurna - Março	Horas Irrigação no ciclo	Custo Total Energia no ciclo	Custo Operacional (sacas soja)/ha/ciclo Soja R$141,90
1	8		12		10	10	12	12	8		812,00	R$ 15 453,43	1,24
2	8		12		10	10	12	12	8		812,00	R$ 79 050,25	9,32
3	8		12		10	10	12	12	8		812,00	R$ 39 822,30	7,33
4	8		12		10	10	12	12	8		812,00	R$ 124 224,41	12,09

Pivô	mm Bombeado Noturno - Novembro	mm Bombeado Diurno - Novembro	mm Bombeado Noturno - Dezembro	mm Bombeado Diurno - Dezembro	mm Bombeado Noturno - Janeiro	mm Bombeado Diurno - Janeiro	mm Bombeado Noturno - Fevereiro	mm Bombeado Diurno - Fevereiro	mm Bombeado Noturno - Março	mm Bombeado Diurno - Março	Lâmina no ciclo (mm)	custo/mm/há	Custo Operacional/há ciclo
1	42,86	0,00	64,29	0,00	53,57	36,43	64,29	43,71	42,86	0,00	348,00	R$ 0,50	R$ 175,71
2	35,71	0,00	53,57	0,00	44,64	30,36	53,57	36,43	35,71	0,00	290,00	R$ 4,56	R$ 1 322,57
3	44,76	0,00	67,14	0,00	55,95	38,05	67,14	45,66	44,76	0,00	363,47	R$ 2,86	R$ 1 040,56
4	44,29	0,00	66,43	0,00	55,36	37,64	66,43	45,17	44,29	0,00	359,60	R$ 4,77	R$ 1 715,57

Pivô	Volume (m^3) Bombeado Noturno - Novembro	Volume (m^3) Bombeado Diurno - Novembro	Volume (m^3) Bombeado Noturno - Dezembro	Volume (m^3) Bombeado Diurno - Dezembro	Volume (m^3) Bombeado Noturno - Janeiro	Volume (m^3) Bombeado Diurno - Janeiro	Volume (m^3) Bombeado Noturno - Fevereiro	Volume (m^3) Bombeado Diurno - Fevereiro	Volume (m^3) Bombeado Noturno - Março	Volume (m^3) Bombeado Diurno - Março	Volume no ciclo (m^3)	Volume(m^3)/há/ciclo	Custo m^3/há ciclo
1	5200,00	0,00	7800,00	0,00	6500,00	4420,00	7800,00	5304,00	5200,00	0,00	42224,00	480,09	R$ 0,03
2	22500,00	0,00	33750,00	0,00	28125,00	19125,00	33750,00	22950,00	22500,00	0,00	182700,00	3056,72	R$ 0,04
3	18000,00	0,00	27000,00	0,00	22500,00	15300,00	27000,00	18360,00	18000,00	0,00	146160,00	3819,18	R$ 0,10
4	28000,00	0,00	42000,00	0,00	35000,00	23800,00	42000,00	28560,00	28000,00	0,00	227360,00	3139,90	R$ 0,03

ESTIMATIVA DE CUSTO OPERACIONAL TOTAL

Sistema	Custo Operacional Ciclo
Pivô 01	R$ 15 453,43
Pivô 02	R$ 79 050,25
Pivô 03	R$ 39 822,30
Pivô 04	R$ 124 224,41

Custo Operacional Total ciclo	Custo Operacional Total/há ciclo	Custo Operacional Total sc/há/ciclo	Custo Operacional Total mm/há/ciclo
R$ 258 550,39	R$ 1 000,58	R$ 7,05	R$ 2,88

Soja R$141,90/sc.
Fonte:CEPEA

A Tabela 1 de Custo Operacional apresenta a simulação do custo operacional para quatro pivôs centrais reais, foram considerados potências do sistema de bombeamento, área total irrigada em hectares, operação dos pivôs em dois períodos, com a irrigação distribuída em 60% no período noturno e 40% no período diurno. Essa abordagem permite avaliar o impacto da distribuição do tempo de operação e das tarifas no custo total da irrigação.

A análise comparativa de sistemas de irrigação, considerando essas métricas, é essencial para identificar as oportunidades de economia e otimização de recursos energéticos [7].

A metodologia também considerou os impactos econômicos dos horários de irrigação horo sazonais e noturno, aproveitando as diferenças tarifárias para reduzir custos. Esse planejamento de horários baseia-se em metodologias que recomendam a otimização de custos com base em tarifas de horário noturno, estratégia que pode resultar em economias significativas em regiões onde essas diferenças tarifárias são substanciais [2][6].

Aplicando o programa em linguagem visual com objetivo de calcular economia de energia elétrica para cada ficha técnica de pivô central inserida, desenvolvido por Medeiros (2005). O programa considera os dados operacionais de cada pivô e realiza simulações baseadas na redução da potência necessária para operação [5].

Tabela 2: Custo Operacional com pressão reduzida

ESTIMATIVA DE CUSTO OPERACIONAL PIVÔS

Pivô	Área Irrigada (há)	Potência reduzida(cv)	Potencia. Pivô (cv)	Potência (kw)	Func. Diurno (hrs)	Func. Noturno (hrs)	Efic. Irrigação	Lamina (mm)	Vazão (M³/h)	Horo-sazonal verde	Tarifa horário noturno	Tarifa demanda (R$/kw)	Custo mensal da demanda
1	87,95	21,5	1	17,90	8,5	12,5	0,9	9	52	R$ 2,10	R$ 0,35	R$ 27,09	R$ 485,04
2	59,77	103,9	8	89,07	8,5	12,5	0,9	7,5	225	R$ 2,10	R$ 0,35	R$ 27,09	R$ 2 412,93
3	38,27	53,45	7	48,10	8,5	12,5	0,9	9,4	180	R$ 2,10	R$ 0,35	R$ 27,09	R$ 1 303,15
4	72,41	189,1	9	157,64	8,5	12,5	0,9	9,3	280	R$ 2,10	R$ 0,35	R$ 27,09	R$ 4 270,54

Pivô	Dias Irrigação Noturna - Novembro	Dias Irrigação Diurna - Novembro	Dias Irrigação Noturna - Dezembro	Dias Irrigação Diurna - Dezembro	Dias Irrigação Noturna - Janeiro	Dias Irrigação Diurna - Janeiro	Dias Irrigação Noturna - Fevereiro	Dias Irrigação Diurna - Fevereiro	Dias Irrigação Noturna - Março	Dias Irrigação Diurna - Março	Horas Irrigação no ciclo	Custo Total Energia no ciclo	Custo Operacional (sacas soja)/ha/ciclo Soja R$141,90
1	8		12		10	10	12	12	8		812,00	R$ 13 373,16	1,07
2	8		12		10	10	12	12	8		812,00	R$ 66 527,02	7,84
3	8		12		10	10	12	12	8		812,00	R$ 35 929,23	6,62
4	8		12		10	10	12	12	8		812,00	R$ 117 743,26	11,46

Pivô	mm Bombeado Noturno - Novembro	mm Bombeado Diurno - Novembro	mm Bombeado Noturno - Dezembro	mm Bombeado Diurno - Dezembro	mm Bombeado Noturno - Janeiro	mm Bombeado Diurno - Janeiro	mm Bombeado Noturno - Fevereiro	mm Bombeado Diurno - Fevereiro	mm Bombeado Noturno - Março	mm Bombeado Diurno - Março	Lâmina no ciclo (mm)	custo/mm/há	Custo Operacional/há ciclo
1	42,86	0,00	64,29	0,00	53,57	36,43	64,29	43,71	42,86	0,00	348,00	R$ 0,44	R$ 152,05
2	35,71	0,00	53,57	0,00	44,64	30,36	53,57	36,43	35,71	0,00	290,00	R$ 3,84	R$ 1 113,05
3	44,76	0,00	67,14	0,00	55,95	38,05	67,14	45,66	44,76	0,00	363,47	R$ 2,58	R$ 938,84
4	44,29	0,00	66,43	0,00	55,36	37,64	66,43	45,17	44,29	0,00	359,60	R$ 4,52	R$ 1 626,06

Pivô	Volume (m³) Bombeado Noturno - Novembro	Volume (m³) Bombeado Diurno - Novembro	Volume (m³) Bombeado Noturno - Dezembro	Volume (m³) Bombeado Diurno - Dezembro	Volume (m³) Bombeado Noturno - Janeiro	Volume (m³) Bombeado Diurno - Janeiro	Volume (m³) Bombeado Noturno - Fevereiro	Volume (m³) Bombeado Diurno - Fevereiro	Volume (m³) Bombeado Noturno - Março	Volume (m³) Bombeado Diurno - Março	Volume no ciclo (m³)	Volume(m³)/há/ciclo	Custo m³/há ciclo
1	5200,00	0,00	7800,00	0,00	6500,00	4420,00	7800,00	5304,00	5200,00	0,00	42224,00	480,09	R$ 0,04
2	22500,00	0,00	33750,00	0,00	28125,00	19125,00	33750,00	22950,00	22500,00	0,00	182700,00	3056,72	R$ 0,05
3	18000,00	0,00	27000,00	0,00	22500,00	15300,00	27000,00	18360,00	18000,00	0,00	146160,00	3819,18	R$ 0,11

4	2800 0,00	0,00	42000, 00	0,00	35000,0 0	23800,0 0	42000 ,00	2856 0,00	2800 0,00	0,00	227360, 00	3139,90	R$ 0,03

ESTIMATIVA DE CUSTO OPERACIONAL TOTAL

Sistema	*Custo Operacional Ciclo*
Pivô 01	R$ 13 373,16
Pivô 02	R$ 66 527,02
Pivô 03	R$ 35 929,23
Pivô 04	R$ 117 743,26

Custo Operacional Total ciclo	*Custo Operacional Total/há ciclo*	*Custo Operacional Total sc/há/ciclo*	*Custo Operacional Total mm/há/ciclo*
R$ 233 572,67	R$ 903,92	R$ 6,37	R$ 2,60

***Soja R$141,90/sc. Fonte:SEPEA**

3. Resultados

A análise dos dados operacionais dos sistemas de pivô central, conforme mostrado na Tabela 1 de Custo operacional e Tabela 2 de Custo operacional com Pressão reduzida, revelou diferenças significativas no percentual de economia de energia elétrica. As reduções foram obtidas a partir da operação dos pivôs com pressão reduzida, demostrando o potencial de economia energética para diferentes configurações e tamanhos de equipamentos.

Os resultados obtidos mostram uma redução significativa na potência necessária para operação dos pivôs centrais ao utilizar pressão reduzida. A redução variou de 10% a 17%, dependendo das características do equipamento, evidenciando o potencial de economia energética no manejo eficiente da irrigação.

A Figura 1 mostra a comparação de potência inicial, reduzida e percentual de economia.

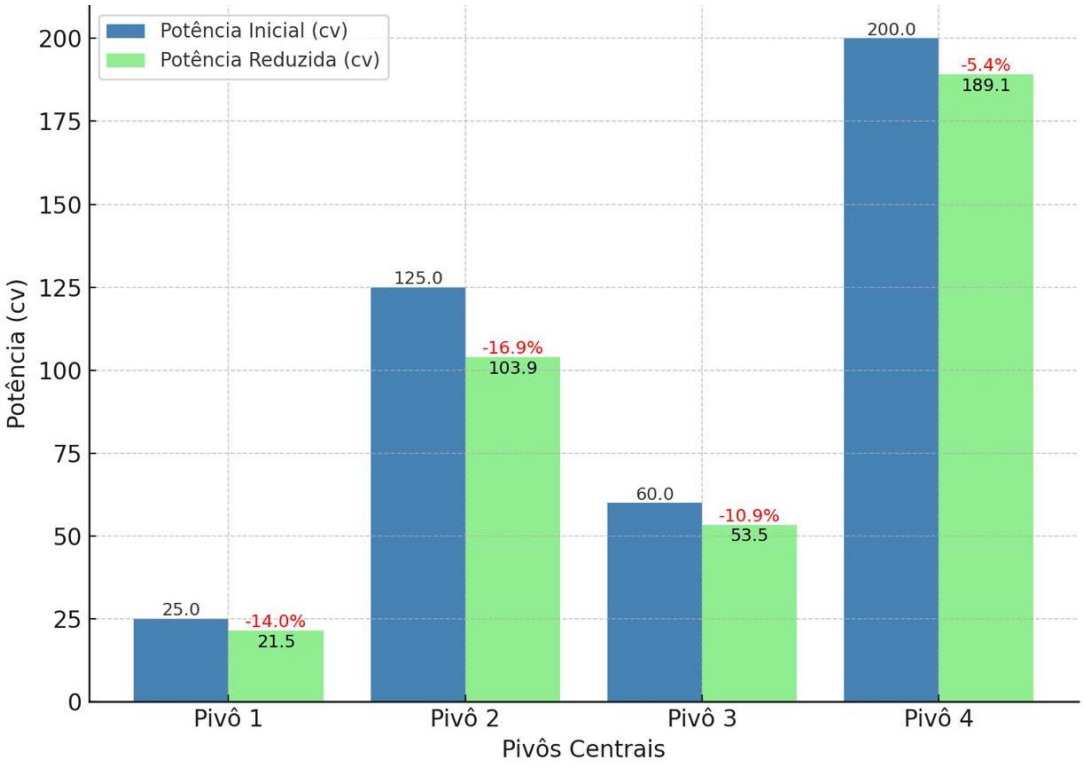

Figura 1: Percentual de economia de energia elétrica por pivô.

Tabela 3: Percentual de Custo Operacional

Custo Operacional Total ciclo	*Custo Operacional Total/há ciclo*	*Custo Operacional Total sc/há/ciclo*	*Custo Operacional Total mm/há/ciclo*
9,36%	9,66%	9,71%	9,57%

Esses resultados corroboram estudos prévios sobre impacto da pressão reduzida na eficiência energética de sistemas de irrigação. A redução da pressão operacional pode gerar economias significativas, além de diminuir custos operacionais e o impacto ambiental associado ao consumo de energia elétrica.

Além disso, o programa permite análise prática facilitando o planejamento energético de diferentes configurações de pivôs centrais. No entanto, é importante considerar que a redução de pressão deve ser ajustada cuidadosamente para evitar falhas na uniformidade da irrigação.

O custo de energia elétrica uma estimativa do custo operacional total por hectare e por ciclo de irrigação, conforme registrado na Tabela 1 de Custo operacional. Os dados indicam que, ao adotar práticas de irrigação no período noturno e priorizar o uso de sistemas com maior eficiência, os produtores podem reduzir significativamente o custo por hectare irrigado. Essa economia é particularmente relevante para culturas que requerem grandes volumes de água, como a soja, onde a redução de custos impacta diretamente a rentabilidade do cultivo.

Por fim, os dados confirmam que a integração de sistemas de pivô central requer gestão criteriosa dos recursos energéticos para maximizar a relação custo-benefício. A implementação de práticas recomendadas, como o ajuste de horários e a escolha de sistemas com boa eficiência, pode auxiliar os produtores a enfrentar os desafios do aumento dos custos na cultura, proporcionando uma solução economicamente viável e ecologicamente eficaz para a agricultura irrigada no estado de Goiás.

4. Conclusão

Este estudo sobre a economia de energia elétrica em sistemas de pivô central no estado de Goiás demonstrou o potencial das tecnologias de controle e automação na gestão dos sistemas de irrigação por meio do monitoramento automatizado e do ajuste dinâmico dos horários de operação, aliado a análise em tempo real do consumo energético, torna-se possível maximizar a eficiência dos sistemas de pivô central. Este trabalho fornece uma análise detalhada e recomendações práticas que podem servir como base para futuras implementações e estudos na área, incentivando uma agricultura mais eficiente em termos de consumo energético.

Os resultados indicam que implementar sistemas automatizados com boa eficiência, aliados a ajustes nos horários de irrigação, permite reduzir o custo total de energia elétrica no ciclo e, consequentemente, melhoram a viabilidade econômica da produção agrícola

em Goiás. Essas práticas são essenciais para culturas que demandam grandes volumes de água, como a soja, pois a redução de custos é diretamente proporcional ao aumento da rentabilidade. Esse tipo de manejo, pautado em uma análise criteriosa de custos e economia de energia, contribui para a sustentabilidade ambiental e para economia financeira dos produtores rurais.

A partir das análises realizadas, conclui-se que a implementação de práticas de irrigação baseadas em dados e na otimização de custos pode contribuir significativamente para a sustentabilidade econômica e ambiental da agricultura irrigada em Goiás. Ao considerar fatores sazonais e as demandas específicas de cada cultura, os produtores podem adotar um planejamento energético que minimize os custos e maximize a eficiência da produção.

5. Referências Bibliográficas

1. SILVA, A. J. **Eficiência Energética e Sustentabilidade em Residências**. Florianópolis: Editora de Engenharia Elétrica, 2017.
2. ALMEIDA, F. T. **Tecnologias de Iluminação e Redução de Custos Energéticos em Edificações**. São Paulo: Editora Técnica Brasil, 2020.
3. MOREIRA, L. F. **Energia e Meio Ambiente**: Tecnologias Sustentáveis para a Iluminação. Rio de Janeiro: Editora Ambiental, 2018.
4. NOGUEIRA, C. S. **A Transição Energética**: Impactos da Iluminação LED no Consumo Residencial. São Paulo: Editora Energia Limpa, 2021.
5. MEDEIROS, A. M. M. **Potencial de Economia de Energia Elétrica em Sistemas de Irrigação a Pivô Central com Uso de Inversor de Frequência no Estado de Goiás**, Dissertação de Mestrado, Coordenação Pós-Graduação da Escola de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal de Goiás, 2005.
6. MARTINS, J. L. **Impactos Ambientais de Tecnologias de Iluminação**. Porto Alegre: Editora Sustentável, 2021.
7. PHILIPPI, G. D. **Eficiência Energética em Edificações**: Iluminação Residencial. 2ª ed. São Paulo: Editora de Energia, 2020.
8. SOUZA, P. R.; LIMA, T. F. **Lâmpadas Incandescentes, Fluorescentes e LEDs**: Comparação de Consumo e Durabilidade. Porto Alegre: Editora Técnica, 2019.
9. CARVALHO, M. B. **Métodos Quantitativos para Análise de Custo-Benefício em Sistemas Agrícolas**. Brasília: Editora Agropecuária, 2018.
10. FERREIRA, A. P. **Planejamento Energético em Agricultura**: Eficiência e Sustentabilidade. São Paulo: Editora Agrícola, 2019.
11. OLIVEIRA, R. T. **Gestão e Automação em Sistemas de Irrigação.** Campinas: Editora Tecnologia Rural, 2020.
12. PEREIRA, J. M. **Estratégias de Irrigação para a Redução de Custos Energéticos**. Rio de Janeiro: Editora Agroenergia, 2021.5. GOMES, R. S. **Eficiência Energética e Sustentabilidade**: O Papel da Iluminação. Rio de Janeiro: Editora Luz Verde, 2019.