REVISTA TÓPICOS
ISSN 2965-6672 | Qualis A2

IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADA DE HORTA COM BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO: DIMENSIONAMENTO, VIABILIDADE E ASPECTOS JURÍDICOS

AUTOMATED VEGETABLE GARDEN IRRIGATION WITH PHOTOVOLTAIC PUMPING: SIZING, FEASIBILITY AND LEGAL ASPECTS

Ciências Biológicas, Engenharias, Ciências Sociais Aplicadas •

23/11/2026

REGISTRO DOI: 10.70773/revistatopicos/795288559

Viviane Araújo Arantes[1]

Etiene Faustino Maia[2]

Alexandre Porato Guimarães[3]

Elivânia Maria Sousa Nascimento[4]

Marcilio Alves de Souza Filho[5]

Alexandre Bonifácio Campos[6]

Cleonice Barbosa Pereira[7]

Adriana Andrade Ruas[8]

RESUMO

A irrigação de pequenas hortas depende de três recursos que precisam ser tratados em conjunto: a água disponível, a energia para bombeá-la e as regras que disciplinam o uso de ambas. Este artigo apresenta o dimensionamento de um sistema de irrigação por gotejamento, alimentado por bombeamento fotovoltaico e controlado pela tensão de água no solo, para a horta orgânica de um centro de reabilitação de dependentes químicos em Ituiutaba-MG. A pesquisa combinou estudo de caso, com levantamento de campo, e análise bibliográfica e documental da legislação federal e estadual sobre recursos hídricos, irrigação e energia elétrica. A revisão dos cálculos resultou em 480 gotejadores e demanda de 768 litros por dia, atendida pela bomba solar escolhida em toda a sua faixa de operação, até 40 m de altura manométrica. O projeto foi reformulado com reservatório elevado, gotejamento por gravidade e acionamento automático por sensor de tensão de água no solo. A estimativa de consumo mostrou que a energia evitada é pequena, entre 25 e 102 kWh por ano, de modo que a viabilidade do sistema não se sustenta pela economia na conta de energia, mas pela autonomia em relação à rede, pela economia de água e pela redução do trabalho manual. Na análise jurídica, a captação se enquadra como uso insignificante pela legislação mineira, mas exige cadastro no órgão gestor, e a água deve ter qualidade compatível com a irrigação de hortaliças consumidas cruas.

Palavras-chave: Irrigação por gotejamento; Bombeamento fotovoltaico; Automação; Outorga de recursos hídricos; Hortaliças.

ABSTRACT

Irrigation of small vegetable gardens depends on three resources that must be addressed together: the available water, the energy to pump it and the rules governing the use of both. This article

presents the sizing of a drip irrigation system powered by photovoltaic pumping and controlled by soil water tension for the organic garden of a drug rehabilitation center in Ituiutaba, Minas Gerais, Brazil. The research combined a case study, including a field survey, with a bibliographic and documentary analysis of federal and state legislation on water resources, irrigation and electricity. The revised calculations resulted in 480 drippers and a demand of 768 liters per day, met by the selected solar pump over its entire operating range, up to a total head of 40 m. The design was reformulated with an elevated reservoir, gravity-fed drip irrigation and automatic activation by a soil water tension sensor. The consumption estimate showed that the energy avoided is small, between 25 and 102 kWh per year, so the feasibility of the system rests not on electricity bill savings but on independence from the grid, water savings and reduced manual labor. In the legal analysis, the abstraction qualifies as insignificant use under Minas Gerais legislation, but requires registration with the water management agency, and the water quality must be suitable for irrigating vegetables eaten raw.
Keywords: Drip irrigation; Photovoltaic pumping; Automation; Water use rights; Vegetables.

1. INTRODUÇÃO

Irrigar uma horta exige decidir quanta água aplicar, de onde tirar a energia para levá-la até as plantas e em que condições a lei permite captar essa água. Em propriedades pequenas, essas decisões costumam ser tomadas de forma empírica: o produtor irriga quando acha que o solo está seco, com o equipamento que tem à mão, e raramente verifica se a captação está regularizada. Marouelli e Calbo (2009) observam que a maior parte dos olericultores irriga de forma

imprópria, aplicando água em excesso ou em falta, com reflexos na produtividade e na qualidade das hortaliças.

A energia solar fotovoltaica oferece uma alternativa para o bombeamento em locais onde a rede elétrica não chega ao ponto de captação ou onde se deseja independência dela. Nos sistemas de bombeamento sem baterias, a energia é armazenada na forma de água em um reservatório elevado, que abastece a irrigação mesmo quando a radiação solar diminui (Santos et al., 2007). Associado a sensores de umidade do solo, esse arranjo permite que a irrigação ocorra apenas quando a planta precisa.

O caso estudado é a horta orgânica de um centro de reabilitação de dependentes químicos em Ituiutaba-MG, cultivada pelos próprios colaboradores e abastecida por um poço existente. Um primeiro estudo do local (Carvalho Neto; Vanzetto, 2016) propôs um sistema fotovoltaico para essa horta. Este artigo revisa aquele dimensionamento, corrige inconsistências de cálculo e de concepção e acrescenta duas dimensões que não haviam sido tratadas: a estimativa do consumo de energia, para verificar em que se apoia de fato a viabilidade do sistema, e a análise dos requisitos jurídicos que incidem sobre a captação de água, a qualidade da água de irrigação e a instalação elétrica.

O problema de pesquisa é o seguinte: como dimensionar um sistema automatizado de irrigação por gotejamento, com bombeamento fotovoltaico, para a horta do centro de reabilitação, de forma tecnicamente adequada e em conformidade com a legislação aplicável?

O objetivo geral é propor e avaliar esse sistema. Os objetivos específicos são: calcular a demanda hídrica da horta e verificar se a bomba selecionada a atende; definir uma estratégia de automação baseada na tensão de água no solo; estimar o consumo de energia do bombeamento e discutir a viabilidade econômica; e identificar os requisitos legais relativos ao uso da água, à energia elétrica e à produção de hortaliças orgânicas.

Além desta introdução, o artigo apresenta o referencial teórico, a metodologia, os resultados e a discussão, e as considerações finais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Bombeamento Fotovoltaico Sem Baterias

A energia solar fotovoltaica resulta da conversão direta da luz em eletricidade em materiais semicondutores, fenômeno conhecido como efeito fotovoltaico (Cepel-Cresesb, 2014). Uma célula isolada produz pouca energia; por isso, as células são associadas em módulos, e os módulos, em série ou em paralelo, para obter a tensão e a corrente exigidas pela carga. A potência entregue cresce com a irradiância e diminui com o aumento da temperatura do módulo, e o aproveitamento é maior quando os raios incidem perpendicularmente à superfície (Villalva; Gazoli, 2012).

Um sistema fotovoltaico autônomo convencional reúne módulos, controlador de carga, banco de baterias e, quando a carga opera em corrente alternada, um inversor. No bombeamento de água, a bateria pode ser dispensada: a bomba trabalha enquanto há sol e enche um reservatório elevado, que guarda a energia na forma potencial e alimenta a irrigação por gravidade (Santos et al., 2007). Eliminar as baterias reduz o custo, a manutenção e o descarte de

componentes com chumbo ou lítio. Bombas acionadas por fontes alternativas também são uma saída para locais sem acesso à energia elétrica convencional (Grah et al., 2012).

2.2. Necessidade Hídrica das Hortaliças e Irrigação Localizada

As hortaliças têm ciclo curto, em geral de 60 a 150 dias, e sistema radicular pouco profundo, o que as torna sensíveis à falta e ao excesso de água (Marouelli; Calbo, 2009). O déficit hídrico provoca fechamento dos estômatos, redução da fotossíntese e queda no crescimento; em folhosas como a alface e a couve, isso se traduz em folhas menores e mais fibrosas. O excesso, por sua vez, satura o solo, reduz a aeração das raízes, favorece doenças e carrega nutrientes para fora da zona radicular, o que pesa ainda mais em um cultivo orgânico, no qual a fertilidade depende da matéria orgânica incorporada ao solo.

A irrigação por gotejamento aplica a água diretamente na zona das raízes, em pequenas vazões e com alta frequência, molhando apenas parte da superfície. Para hortas pequenas, a Embrapa recomenda kits de gotejamento por gravidade, nos quais uma caixa d'água instalada entre 1,5 m e 2,0 m acima do solo abastece mangueiras gotejadoras com emissores de cerca de 1,7 L/h espaçados de 0,30 m (Pinto et al., 2015). Esse arranjo dispensa pressurização e combina bem com o bombeamento fotovoltaico para reservatório.

2.3. Manejo da Irrigação Pela Tensão de Água no Solo

A tensão de água no solo, ou potencial matricial, indica a força com que a água está retida pelas partículas do solo e, portanto, o esforço que a planta precisa fazer para absorvê-la. O tensiômetro mede essa

grandeza por meio de uma cápsula porosa cheia de água ligada a um medidor de vácuo: à medida que o solo seca, a água sai da cápsula e o vácuo aumenta (Azevedo; Silva, 1999).

O sistema Irrigas, patenteado pela Embrapa em 2000, usa uma cápsula porosa permeada por ar que permanece fechada enquanto a tensão de água no solo está abaixo de um valor de referência e se abre quando esse valor é ultrapassado. Há sensores comerciais de 15, 25 e 40 kPa, escolhidos conforme a cultura (Marouelli; Calbo, 2009). Em alface, Pereira, Sandri e Rios (2022) automatizaram a irrigação com tensiômetros eletrônicos ligados a um microcontrolador e obtiveram a maior eficiência no uso da água com acionamento a -15 kPa em Latossolo. A automação traz ainda controle preciso do tempo de aplicação e economia de mão de obra, água e energia (Gornat; Silva, 1990).

2.4. Marco Jurídico do Uso da Água e da Energia na Irrigação

A Lei nº 9.433/1997 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e estabeleceu a outorga de direito de uso como instrumento para controlar a quantidade e a qualidade da água captada. A mesma lei dispensa de outorga as derivações e captações consideradas insignificantes, cujos limites são definidos pelos órgãos gestores (Brasil, 1997). Em Minas Gerais, a Política Estadual de Recursos Hídricos foi instituída pela Lei nº 13.199/1999, e os limites de uso insignificante são fixados por deliberações do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH-MG). A Deliberação Normativa CERH nº 09/2004 considera insignificantes as captações subterrâneas, como poços manuais, surgências e cisternas, de até 10 m^3/dia (Minas Gerais, 2004). A Deliberação Normativa CERH nº 76/2022 manteve o limite de 10.000 L/dia para captações subterrâneas em geral, admitiu

até 14.000 L/dia para poços tubulares e limitou a um o número de poços tubulares classificados como uso insignificante por posse ou propriedade (Minas Gerais, 2022). O uso insignificante não dispensa o registro: o usuário deve fazer o cadastro no Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam).

A Política Nacional de Irrigação, instituída pela Lei nº 12.787/2013, tem entre seus princípios o uso e o manejo sustentável dos solos e dos recursos hídricos destinados à irrigação e prevê, entre seus instrumentos, incentivos fiscais, crédito, seguro rural e tarifas especiais de energia elétrica (Brasil, 2013). O desconto tarifário para irrigação e aquicultura tem origem no art. 25 da Lei nº 10.438/2002 e é regulamentado pelo art. 186 da Resolução Normativa ANEEL nº 1.000/2021: aplica-se a unidades consumidoras da classe rural, sobre o consumo realizado em um período diário contínuo de 8 horas e 30 minutos (Brasil, 2002; ANEEL, 2021). Em 2026, o Ministério de Minas e Energia publicou novas diretrizes para esses descontos, admitindo restrições de horário em situações de restrição do sistema elétrico comprovadas por estudos aprovados pela ANEEL (Brasil, 2026).

Quanto à qualidade da água, a Resolução CONAMA nº 357/2005 destina as águas doces de classe 1, entre outros usos, à irrigação de hortaliças consumidas cruas, e a Resolução CONAMA nº 396/2008 classifica as águas subterrâneas e estabelece valores de referência conforme o uso preponderante, inclusive a irrigação (Brasil, 2005; 2008). Para a produção orgânica, a Lei nº 10.831/2003 define o sistema orgânico de produção e condiciona a comercialização dos produtos à certificação ou, no caso da venda direta por agricultores familiares, ao cadastro em organização de controle social (Brasil, 2003). Por fim, a execução de instalações elétricas é atividade de engenharia sujeita à Anotação de Responsabilidade Técnica (ART),

instituída pela Lei nº 6.496/1977, e às prescrições da ABNT NBR 5410 para instalações de baixa tensão (Brasil, 1977; ABNT, 2008).

3. METODOLOGIA

A pesquisa é um estudo de caso de natureza aplicada, com abordagem quantitativa no dimensionamento e qualitativa na análise jurídica. Os dados de campo foram obtidos em visita ao centro de reabilitação, por meio de roteiro de entrevista e de medições da área de cultivo, conforme registrado por Carvalho Neto e Vanzetto (2016). A instituição não autorizou a divulgação de seu nome.

O dimensionamento foi refeito a partir desses dados, com as equações de volume diário e de vazão apresentadas na seção 4.2. A capacidade da bomba foi verificada pela curva de volume diário em função da altura manométrica informada pelo fabricante. Para estimar o consumo de energia, calculou-se a energia hidráulica necessária para elevar o volume diário em diferentes alturas manométricas e adotou-se rendimento global de 30% para o conjunto motobomba e driver, valor conservador para bombas de pequeno porte. Como a profundidade do poço não foi registrada no levantamento, a análise considerou alturas de 10 m a 40 m.

A análise jurídica foi feita por pesquisa documental na legislação federal, na legislação do Estado de Minas Gerais e em atos normativos da ANEEL, do CONAMA, do CERH-MG e do Ministério de Minas e Energia, consultados em novembro de 2026. Cada requisito identificado foi confrontado com as características do caso. Os preços de referência foram obtidos em consulta a revendedores na mesma data.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização do Local

A horta ocupa uma área total de 500 m² (20 m × 25 m) e é cultivada em sistema orgânico pelos colaboradores do centro. No levantamento, eram cultivadas alface, couve, cenoura e cheiro-verde, escolhidas pelo baixo custo e pela facilidade de manejo. O local dispõe de um poço, e a irrigação era feita manualmente. A área irrigada considerada no projeto é composta por duas parcelas, cada uma com dois canteiros de 2,5 m × 12 m, o que totaliza quatro canteiros e 120 m² efetivamente irrigados.

O espaçamento das plantas é de 0,35 m entre fileiras e 0,30 m entre plantas, com três linhas laterais de gotejadores por canteiro. Os emissores têm vazão nominal de 1,6 L/h e espaçamento de 0,30 m na linha.

4.2. Demanda Hídrica

O volume de água demandado por dia (VAD) foi calculado pela Equação 1, e a vazão de cada parcela (Q_p), pela Equação 2:

$$VAD = Q_g \times N_{gp} \times H_i \times N_p \quad (1)$$

$$Q_p = Q_g \times N_{gp} \quad (2)$$

em que Q_g é a vazão de cada gotejador (L/h), N_{gp} é o número de gotejadores por parcela, H_i é o tempo de irrigação de cada parcela (h/dia) e N_p é o número de parcelas irrigadas em sequência.

Cada linha lateral tem 12 m e emissores a cada 0,30 m, o que resulta em 40 gotejadores por linha. O estudo original indicava 80 gotejadores por linha, valor que só seria possível com linhas de 24 m. Corrigido esse número, a Tabela 1 resume o dimensionamento.

Tabela 1. Dimensionamento hidráulico da irrigação.

Parâmetro	Cálculo	Resultado
Gotejadores por linha lateral	12 m ÷ 0,30 m	40
Gotejadores por canteiro	40 × 3 linhas	120
Gotejadores por parcela (N_{gp})	120 × 2 canteiros	240
Total de gotejadores	240 × 2 parcelas	480
Vazão por parcela (Q_p)	240 × 1,6 L/h	384 L/h
Volume diário (VAD)	384 L/h × 1 h × 2 parcelas	768 L/dia
Lâmina aplicada por parcela	384 L ÷ 60 m^2	6,4 mm/dia

Fonte: Autores, 2026, com dados de Carvalho Neto e Vanzetto (2016).

O volume diário de 768 L coincide com o valor do estudo original, mas por outro caminho: lá, o erro no número de gotejadores por linha foi compensado por se considerar o volume de uma única parcela como o total do sistema. Com os valores corrigidos, a demanda é de 384 L por parcela e 768 L para as duas.

A lâmina bruta de 6,4 mm/dia corresponde ao período crítico de demanda das culturas, adotado como base de projeto com uma hora de irrigação por parcela. Esse valor deve ser confrontado com a evapotranspiração da cultura calculada com dados meteorológicos da região, e o tempo de irrigação será, na prática, ajustado pelo

sensor de tensão de água no solo, que interrompe a aplicação quando o solo atinge a umidade adequada.

4.3. Bombeamento e Reservatório

A bomba selecionada no estudo original, modelo Anauger Solar P100, é uma bomba vibratória submersa que opera ligada diretamente a um módulo fotovoltaico por meio de um driver, sem baterias. A Tabela 2 apresenta o volume diário bombeado em função da altura manométrica.

Tabela 2. Volume diário bombeado pela bomba P100 em função da altura manométrica.

Altura manométrica (m)	0	5	10	15	20
Volume (L/dia)	8.600	7.000	5.600	4.500	3.65

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: https://revistatopicos.com.br/artigos/irrigacao-automatizada-de-horta-com-bombeamento-fotovoltaico-dimensionamento-viabilidade-e-aspectos-juridicos?noblockage

Fonte: Anauger (2016 apud Carvalho Neto; Vanzetto, 2016).

O valor de 1.200 L/dia que o estudo original atribuía ao kit corresponde, na verdade, ao pior ponto da curva, a 40 m de altura manométrica. Mesmo nessa condição, a bomba entrega 56% a mais que a demanda de 768 L/dia. Em qualquer altura manométrica até 40 m, portanto, o sistema atende à horta, e a margem cresce à

medida que o poço é mais raso. A altura manométrica real deve ser medida no local, somando o nível dinâmico do poço, a altura da caixa d'água e as perdas de carga na tubulação.

O estudo original descrevia um reservatório elevado no texto, mas o desenho do projeto ligava a bomba diretamente às linhas de gotejamento, com emissores que exigem pressão de serviço de 10 m.c.a. Esse arranjo tem dois problemas: a vazão da bomba varia ao longo do dia com a radiação solar, o que impede uma irrigação uniforme, e não haveria água para irrigar nos horários sem sol. A solução adotada neste artigo é bombear para uma caixa d'água de 1.000 L, instalada entre 1,5 m e 2,0 m acima do solo, com boia de nível que desliga a bomba quando a caixa enche. A caixa guarda cerca de 1,3 dia de consumo e abastece a irrigação por gravidade.

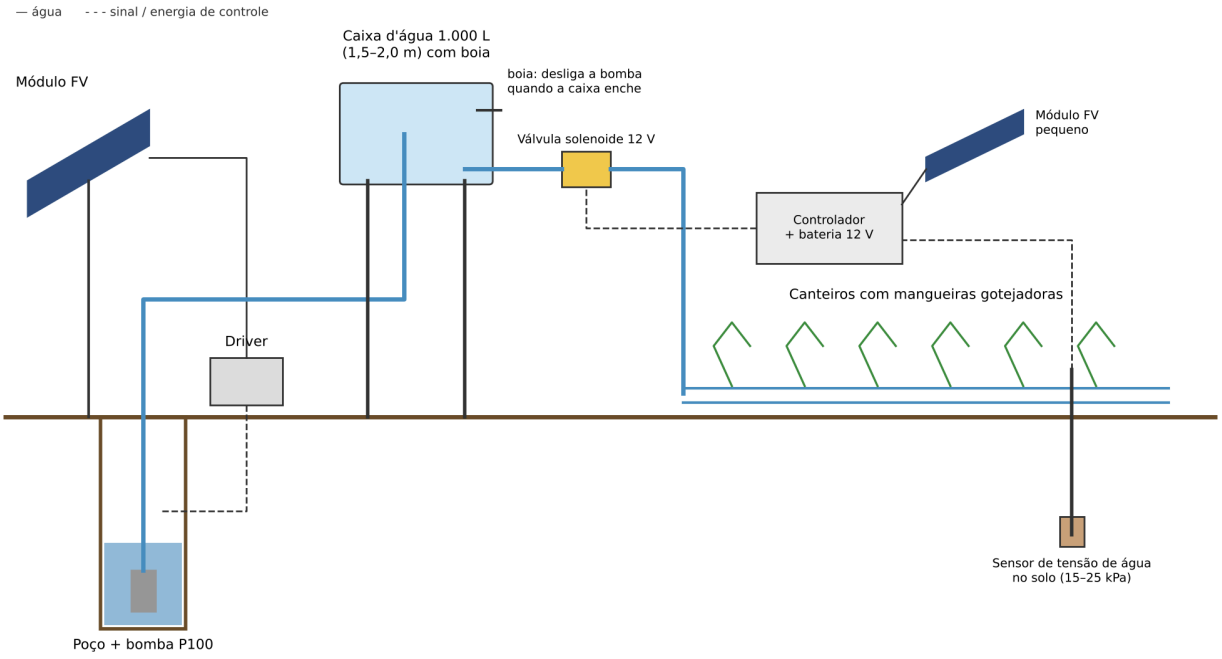
A pressão disponível com a caixa nessa altura é de apenas 1,5 a 2,0 m.c.a., insuficiente para gotejadores de 10 m.c.a. Por isso, o projeto passa a usar mangueiras gotejadoras próprias para baixa pressão, como as dos kits de gotejamento por gravidade descritos por Pinto et al. (2015). A vazão real dos emissores nessa pressão deve ser conferida em campo, com um teste simples de coleta em recipientes graduados, e o tempo de irrigação ajustado conforme o resultado.

4.4. Automação da Irrigação

No estudo original, o tensiômetro orçado era um modelo analógico de leitura manual, indicado para vasos, e não havia nenhum componente que transformasse a leitura em comando. Na prática, a bomba seria controlada apenas pela boia, e a irrigação continuaria dependendo de alguém abrir e fechar o registro.

O sistema proposto, apresentado na Figura 1, separa duas funções. A primeira é o abastecimento da caixa: a bomba funciona enquanto houver sol e a boia indicar nível baixo. A segunda é a irrigação: uma válvula solenoide de 12 V, instalada na saída da caixa, é aberta quando o sensor indica que a tensão de água no solo ultrapassou o valor de referência e fechada quando o solo volta à umidade adequada ou quando se atinge um tempo máximo de segurança. Para o sensor, podem ser usados um sensor Irrigas de 15 kPa ou 25 kPa ou um tensiômetro eletrônico; o valor de -15 kPa tem respaldo experimental para a alface (Pereira; Sandri; Rios, 2022), e o valor para as demais espécies deve seguir as recomendações de Marouelli e Calbo (2009).

Figura 1. Sistema proposto de irrigação automatizada com bombeamento fotovoltaico.



Fonte: Autores, 2026.

O circuito de controle precisa de energia também nos horários sem sol, já que a irrigação pode ocorrer no início da manhã ou no fim da tarde, quando a evaporação é menor. Para isso, propõe-se um

pequeno conjunto independente, com módulo fotovoltaico de baixa potência, controlador de carga e bateria de 12 V, dedicado apenas ao controlador e à válvula. Isso não contradiz a opção por um bombeamento sem baterias: a bomba, que é a carga principal, continua sem acumulação elétrica, e a bateria atende a uma carga de poucos watts por curtos períodos. É recomendável instalar pelo menos dois sensores, um em cada parcela, posicionados na profundidade efetiva das raízes.

4.5. Consumo de Energia e Viabilidade Econômica

A energia hidráulica necessária para elevar o volume diário é dada por $E_h = \rho \times g \times V \times H$, em que ρ é a massa específica da água, g é a aceleração da gravidade, V é o volume diário e H é a altura manométrica. Dividindo-se pelo rendimento global adotado (30%), obtém-se a energia elétrica que o bombeamento consumiria se fosse alimentado pela rede. A Tabela 3 apresenta os resultados.

Tabela 3. Energia necessária para bombear 768 L/dia.

Altura manométrica (m)	Energia hidráulica (kWh/dia)	Energia elétrica (kWh/dia)	Energia elétrica (kWh/ano)
10	0,021	0,070	25,5
20	0,042	0,140	50,9
30	0,063	0,209	76,4
40	0,084	0,279	101,8

Fonte: Autores, 2026. Rendimento global adotado: 30%.

O consumo é muito pequeno: no pior caso, cerca de 102 kWh por ano, ou 8,4 kWh por mês. Adotando-se, apenas como ordem de grandeza, uma tarifa de R$ 1,00/kWh com impostos, a energia evitada valeria entre R$ 25 e R$ 102 por ano. Somente a bomba com driver custa R$ 3.998,90 (Loja do Mecânico, 2026), o que levaria de 39 a 157 anos para ser recuperado pela economia na conta de energia, prazo muito superior à vida útil do equipamento.

Esse resultado corrige uma conclusão do estudo original, que considerava o sistema economicamente viável por depender apenas de energia solar. A viabilidade não está na economia de energia, mas em outros fatores: a ausência de rede elétrica no ponto de captação, cujo custo de extensão pode superar o do sistema fotovoltaico; a autonomia em relação a interrupções no fornecimento; a economia de água proporcionada pela irrigação controlada por sensor; e a liberação do tempo dos colaboradores, hoje dedicado à irrigação manual. Para uma análise econômica completa, o centro precisaria informar o custo de levar a rede até o poço e o tempo atualmente gasto com a irrigação.

O desconto tarifário para irrigantes também não altera essa conclusão. Além de o sistema proposto não usar a rede, o benefício se aplica a unidades consumidoras da classe rural e ao consumo concentrado em 8 horas e 30 minutos diários (ANEEL, 2021). Um centro de reabilitação pode não estar classificado como unidade rural, e uma horta abastecida por reservatório não precisa de bombeamento noturno. O desconto seria relevante apenas em uma eventual ampliação da área irrigada com bombeamento pela rede.

4.6. Orçamento de Referência

A Tabela 4 relaciona os itens do sistema proposto. O orçamento do estudo original, de 2016, foi descartado por estar desatualizado e por incluir itens incompatíveis com o projeto, como o tensiômetro de vasos e uma linha de instalação de aquecedor.

Tabela 4. Itens do sistema proposto e preços de referência.

Item	Quant.	Preço de referência (R$)
Bomba solar submersa Anauger P100 com driver	1	3.998,90
Módulo fotovoltaico para a bomba, cabos e conectores MC4	1	342,70
Boia de nível para a bomba	1	64,16
Caixa d'água de 1.000 L e estrutura de 1,5 m a 2,0 m	1	1.419,90
Mangueiras gotejadoras de baixa pressão, filtro de disco e registros	1 conjunto	577,17
Sensor de tensão de água no solo (Irrigas ou tensiômetro eletrônico)	2	184,44
Válvula solenoide 12 V, controlador, bateria 12 V e módulo FV pequeno	1 conjunto	540,55
Instalação e Anotação de Responsabilidade Técnica	–	108,39 + mão de obra
Total estimado (sem mão de obra de instalação)	**–**	**7.236,21**

Fonte: Autores, 2026. Preços consultados em novembro de 2026: bomba, Loja do Mecânico; módulo fotovoltaico, Minha Casa Solar; boia, válvula solenoide, relé, controlador de carga, bateria e filtro de

disco, Magazine Luiza; caixa d'água e registros, Telhanorte; suporte da caixa, MadeiraMadeira; mangueira gotejadora, ESP32 e módulo FV de 20 W, Mercado Livre; sensores Irrigas, Hidrosense; ART, tabela do Sistema Confea/Crea para 2026.

4.7. Análise Jurídica Aplicada Ao Caso

O Quadro 1 resume os requisitos legais identificados e a situação do caso estudado.

Quadro 1. Requisitos legais aplicáveis ao sistema de irrigação.

Tema	Norma	Aplicação ao caso
Captação de água do poço	Lei nº 9.433/1997; Lei nº 13.199/1999 (MG); DN CERH nº 09/2004 e nº 76/2022	768 L/dia está abaixo dos limites de 10.000 L/dia e 14.000 L/dia: uso insignificante, dispensado de outorga, mas com cadastro obrigatório no Igam
Qualidade da água de irrigação	Resolução CONAMA nº 357/2005; Resolução CONAMA nº 396/2008	Hortaliças consumidas cruas exigem água de boa qualidade; recomenda-se análise microbiológica e físico-química da água do poço
Política de irrigação	Lei nº 12.787/2013	O projeto atende ao princípio de uso sustentável da água; o cadastro regular é condição para acesso a crédito e incentivos
Tarifa de energia para irrigação	Lei nº 10.438/2002; REN ANEEL nº 1.000/2021; Portaria MME nº 137/2026	Não se aplica ao sistema fotovoltaico isolado; seria relevante apenas em ampliação com bombeamento pela rede
Produção orgânica	Lei nº 10.831/2003	Para consumo próprio do centro, não há exigência de certificação; a venda dos produtos exige

		certificação ou vínculo a organização de controle social
Instalação elétrica	Lei nº 6.496/1977; ABNT NBR 5410	A instalação deve ter responsável técnico habilitado, com ART, e seguir a norma de instalações de baixa tensão

Fonte: Autores, 2026.

O ponto central é a regularização do poço. A demanda do projeto é muito inferior aos limites de uso insignificante, mas isso não significa que o poço possa operar sem qualquer registro. O centro deve fazer o cadastro de uso insignificante no Igam, informando a localização do poço e o volume captado. Se o poço for tubular, é preciso verificar se não há outro poço tubular cadastrado como insignificante no mesmo imóvel, já que a DN CERH nº 76/2022 admite apenas um por propriedade, e se a perfuração foi autorizada (Minas Gerais, 2022). O cadastro regular é também condição para o acesso a crédito rural e para a obtenção do desconto tarifário caso a irrigação venha a ser ampliada com energia da rede.

A qualidade da água merece atenção especial porque alface, couve e cheiro-verde são consumidos crus. Embora o gotejamento reduza o contato da água com as folhas, a contaminação microbiológica da água do poço pode chegar ao alimento. Uma análise inicial e análises periódicas são medidas simples e baratas diante do risco à saúde dos internos e colaboradores que consomem a produção.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de irrigação por gotejamento com bombeamento fotovoltaico atende à horta do centro de reabilitação. Com os

cálculos corrigidos, a demanda é de 768 L/dia, distribuída em 480 gotejadores, e a bomba P100 a supre com folga em qualquer altura manométrica até 40 m.

A revisão do projeto original exigiu três mudanças de concepção. A bomba passou a abastecer uma caixa d'água elevada, em vez de alimentar diretamente as linhas de gotejamento. Os gotejadores de 10 m.c.a. foram substituídos por mangueiras gotejadoras de baixa pressão, compatíveis com a irrigação por gravidade. E a automação, que no estudo original se limitava a uma boia e a um tensiômetro de leitura manual, passou a contar com sensor de tensão de água no solo e válvula solenoide, de modo que a irrigação ocorra apenas quando as plantas precisam.

A análise energética mostrou que a viabilidade do sistema não pode ser justificada pela economia na conta de energia, que é pequena. O argumento a favor do sistema está na independência da rede, na economia de água e na redução do trabalho manual, e uma avaliação econômica completa depende de dados que o centro ainda precisa fornecer, como o custo de extensão da rede até o poço.

Na dimensão jurídica, a captação se enquadra como uso insignificante, mas precisa ser cadastrada no Igam; a água do poço deve ser analisada, por se destinar a hortaliças consumidas cruas; e a instalação elétrica exige responsável técnico com ART. O desconto tarifário para irrigantes não se aplica ao sistema isolado. Como trabalhos futuros, sugerem-se a instalação de um protótipo para medir a vazão real dos emissores, a altura manométrica e o consumo de água, e a comparação do custo do sistema com o da extensão da rede elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021.** Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica. Brasília, DF: ANEEL, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5410:2004 Versão Corrigida:2008:** instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

AZEVEDO, J. A. de; SILVA, E. M. da. **Tensiômetro:** dispositivo prático para controle da irrigação. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 1999. (Circular Técnica).

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Brasília, DF: CONAMA, 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008.** Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. Brasília, DF: CONAMA, 2008.

BRASIL. **Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002.** Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2002.

BRASIL. **Lei nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003.** Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. Brasília, DF:

Presidência da República, 2003.

BRASIL. **Lei nº 12.787, de 11 de janeiro de 2013.** Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação. Brasília, DF: Presidência da República, 2013. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/l12787.htm. Acesso em: 14 nov. 2026.

BRASIL. **Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977.** Institui a "Anotação de Responsabilidade Técnica" na prestação de serviços de engenharia, de arquitetura e agronomia. Brasília, DF: Presidência da República, 1977.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília, DF: Presidência da República, 1997.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Portaria Normativa MME nº 137, de 8 de junho de 2026.** Estabelece diretrizes para os descontos especiais nas tarifas de energia elétrica aplicáveis às atividades de irrigação e aquicultura. Brasília, DF: MME, 2026. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/acesso-a-informacao/legislacao/portarias/2026/portaria-normativa-mme-n-137-2026.pdf. Acesso em: 14 nov. 2026.

CARVALHO NETO, Afonso Joaquim; VANZETTO, Rodrigo. **Sistema de automatização para irrigação de uma horta a partir da energia fotovoltaica.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade do Estado de Minas Gerais, Ituiutaba, 2016.

CEPEL-CRESESB. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: CEPEL-CRESESB, 2014.

GORNAT, B.; SILVA, W. L. V. Sistemas de controle e automatização da irrigação. **ITEM – Irrigação e Tecnologia Moderna,** Brasília, 1990.

GRAH, V. F. *et al.* Solução alternativa para bombeamento de água e automação da irrigação sem o uso de energia elétrica. **Irriga,** Botucatu, 2012.

LOJA DO MECÂNICO. **Bomba de água submersa solar P100 40 metros 8600 litros/dia com drive para poços até 6 pol. Anauger.** [S. l.], 2026. Disponível em: https://www.lojadomecanico.com.br/produto/147667/33/619/Bomba-de-Agua-Submersa-Solar-P100-40-Metros-8600-LitrosDia-com-Drive-para-Pocos-ate-6-Pol/153/. Acesso em: 14 nov. 2026.

MAROUELLI, Waldir A.; CALBO, Adonai G. **Manejo de irrigação em hortaliças com sistema Irrigas®.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2009. (Circular Técnica). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/428165/1/Proci09.00069.PDF. Acesso em: 14 nov. 2026.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Deliberação Normativa CERH nº 09, de 16 de junho de 2004.** Define os usos insignificantes para as circunscrições hidrográficas no Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: CERH-MG, 2004.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Deliberação Normativa CERH nº 76, de 19 de abril de 2022.** Define os critérios para a regularização do uso de água subterrânea nas

Circunscrições Hidrográficas do Estado de Minas Gerais e dá outras providências. Belo Horizonte: CERH-MG, 2022.

MINAS GERAIS. **Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999.** Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. Belo Horizonte: Assembleia Legislativa, 1999.

PEREIRA, Rodrigo Moura; SANDRI, Delvio; RIOS, Gervásio Fernando Alves. Tensiômetros eletrônicos integrados a placa microcontroladora Arduino no manejo da irrigação de alface em diferentes potenciais matriciais críticos e tipos de solo. **Irriga,** Botucatu, v. 27, n. 2, p. 311-327, 2022. DOI: https://doi.org/10.15809/irriga.2022v27n2p311-327.

PINTO, José Maria *et al.* **Sistema de gotejamento por gravidade para a irrigação de hortas.** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2015. (Instruções Técnicas, 122). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1025428/1/INT122.pdf. Acesso em: 14 nov. 2026.

SANTOS, E. C. *et al.* Energia solar na fruticultura irrigada familiar. **Tecnologia & Ciência Agropecuária,** João Pessoa, v. 1, n. 2, 2007.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia solar fotovoltaica:** conceitos e aplicações. São Paulo: Érica, 2012.

---

[1] Graduada em Engenharia Elétrica. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[2] Discente do curso de Engenharia da Computação da Universidade do Estado de Minas Gerais, Campus Ituiutaba. E-mail: acesse o artigo

original para visualizar o e-mail

[3] Discente do curso de Engenharia da Computação da Universidade do Estado de Minas Gerais, Campus Ituiutaba. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[4] Docente da Universidade do Estado de Minas Gerais, Campus Ituiutaba. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[5] Discente do curso de Engenharia de Computação da Universidade do Estado de Minas Gerais, Campus Ituiutaba. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[6] Graduado em Engenharia Elétrica. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[7] Graduada em Engenharia Elétrica pela Universidade do Estado de Minas Gerais, Campus Ituiutaba. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[8] Docente do IFMG, Campus Governador Valadares. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail