PADRONIZAÇÃO DE USINAS FOTOVOLTAICAS PARA SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA RURAL: ESTRATÉGIA DE IMPLANTAÇÃO EM ESCALA NO PROGRAMA ÁGUAS DO SERTÃO

Jones Araújo Bezerra [(1)]
Engenheiro civil, graduado pela Universidade Federal do Ceará (UFC), especialista em Estruturas de Concreto, Fundações e Rodovias. Experiência na elaboração e execução de projetos de estruturas de concreto armado, instalações elétricas e hidrossanitárias. Trabalha no desenvolvimento e fiscalização de sistemas de abastecimento de água e projetos de usinas solares fotovoltaicas exercendo a função de engenheiro civil na Secretaria das Cidades do Estado do Ceará, integrando a equipe do Programa Águas do Sertão.
Carlos Henrique de Castro Silva[(2)]
Engenheiro Eletricista, graduado pela Universidade Federal do Ceará (UFC), possui mestrado em Engenharia Elétrica na área de Proteção de Sistemas Elétricos de Potência. Atualmente, exerce a função de Consultor de Energias Renováveis, na Secretaria das Cidades do Estado do Ceará, integrando a equipe do Programa Águas do Sertão, onde atua na fiscalização e acompanhamento de obras de energia elétrica, e usinas fotovoltaicas voltadas à ampliação do acesso à água em comunidades rurais do Estado.
Antônio Negreiros Bastos[(3)]
Engenheiro Civil, graduado pela Universidade Federal do Ceará (UFC), Especialista em Gestão de Obras. Atualmente Secretário de Estado das Cidades do Ceará.
Francisco Aragão Gomes de Morais Júnior[(4)]
Tecnólogo de Saneamento Ambiental (IFCE), Graduando em Engenharia Civil (UNINASSAU). Funcionário da Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE, atua como Supervisor GOPAS a Unidade de Projetos do Programa Águas do Sertão - UGP PAS.
Bruno da Silveira Carvalho[(5)]**,**
Bacharel em Ciências Ambientais (UFC) Especialista em Engenharia de Saneamento Ambiental (UNIP/INBEC), Técnico em Edificações (IFCE), Designer em Permacultura (IPC), Pós-graduando Especialista em Engenharia Acústica e Conforto Ambiental (Faculdade Focus), Consultor Lixo Zero (ILZBR), atualmente Técnico de Nível Superior Sênior 2 pelo Instituto Agropolos na Gerência de Monitoramento e Controle do Programa Águas do Sertão da Secretaria das Cidades do Ceará.

Endereço: Rua Solon Pinheiro, 1070, APTO 705b – José Bonifácio - Fortaleza – Ceará - CEP: 60.050-041 - País - Tel: +55 (88) 99638-3487 - e-mail: jones.araujo@cidades.ce.gov.br

RESUMO

Os custos relacionados ao consumo de energia elétrica representam uma parcela significativa das despesas operacionais dos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA), especialmente em localidades rurais que dependem de sistemas de bombeamento para captação e distribuição de água. Nesse contexto, a geração de energia por meio de sistemas fotovoltaicos apresenta-se como uma alternativa sustentável para redução dos custos operacionais e aumento da eficiência dos sistemas. Este trabalho apresenta a metodologia adotada para o desenvolvimento de um projeto fotovoltaico padronizado destinado à implantação em Sistemas de Abastecimento de Água contemplados pelo Programa Águas do Sertão, no Estado do Ceará. A estratégia consistiu na elaboração de uma usina fotovoltaica padrão, dimensionada de acordo com o limite de potência permitido para conexão em baixa tensão, permitindo sua replicação em diversas localidades rurais. O estudo discute os critérios adotados para o desenvolvimento do projeto, os benefícios técnicos e operacionais da padronização e as perspectivas para implantação em larga escala. Os resultados demonstram que a utilização de projetos padronizados pode contribuir para a redução dos prazos de engenharia, simplificação dos processos de implantação e fortalecimento da sustentabilidade operacional dos sistemas de abastecimento

PALAVRAS-CHAVE: Energia Solar Fotovoltaica; Saneamento Rural; Sistemas de Abastecimento de Água; Padronização de Projetos; Sustentabilidade Operacional.

INTRODUÇÃO

O acesso à água potável constitui um dos principais desafios para comunidades rurais brasileiras, exigindo investimentos contínuos em infraestrutura de saneamento e sistemas de abastecimento de água. Embora a

implantação dessas estruturas represente um avanço significativo na qualidade de vida das populações atendidas, a manutenção e operação dos sistemas demandam recursos financeiros permanentes, especialmente em função dos custos relacionados ao consumo de energia elétrica.

Nos Sistemas de Abastecimento de Água, a energia é utilizada principalmente para acionamento de bombas responsáveis pela captação, adução e distribuição da água, tornando-se um dos principais componentes dos custos operacionais. Em regiões rurais, onde frequentemente existem limitações orçamentárias para operação dos sistemas, a busca por soluções que reduzam as despesas energéticas torna-se fundamental para garantir a sustentabilidade dos empreendimentos.

Nesse cenário, a geração distribuída por meio de sistemas fotovoltaicos tem se destacado como uma alternativa viável para compensação do consumo energético. Além dos benefícios econômicos, a utilização da energia solar contribui para a redução dos impactos ambientais e para o fortalecimento da matriz energética renovável.

Visando incorporar tais benefícios aos Sistemas de Abastecimento de Água contemplados pelo Programa Águas do Sertão, foi desenvolvido um projeto padrão de usina fotovoltaica, concebido para ser replicado em múltiplas localidades rurais. Diferentemente dos modelos convencionais, nos quais cada sistema recebe um dimensionamento específico, a estratégia adotada baseou-se na elaboração de uma solução padronizada, buscando simplificar os processos de engenharia, aquisição de equipamentos e implantação.

Dessa forma, este trabalho apresenta a metodologia utilizada para o desenvolvimento da usina fotovoltaica padrão e discute os benefícios decorrentes de sua replicação em larga escala.

OBJETIVO GERAL

Apresentar a metodologia de desenvolvimento de um projeto fotovoltaico padronizado destinado à aplicação em Sistemas de Abastecimento de Água rurais, visando facilitar a implantação em escala, reduzir o tempo de elaboração de projetos e contribuir para a sustentabilidade operacional dos sistemas atendidos pelo Programa Águas do Sertão.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever as características técnicas do projeto-piloto desenvolvido;
- Apresentar os critérios adotados para a definição da potência instalada da usina fotovoltaica padrão;
- Demonstrar as vantagens da utilização de um modelo padronizado para implantação em múltiplas localidades;
- Avaliar os benefícios operacionais decorrentes da replicação do projeto fotovoltaico;
- Discutir a aplicação da energia solar como estratégia de apoio à operação de Sistemas de Abastecimento de Água rurais;

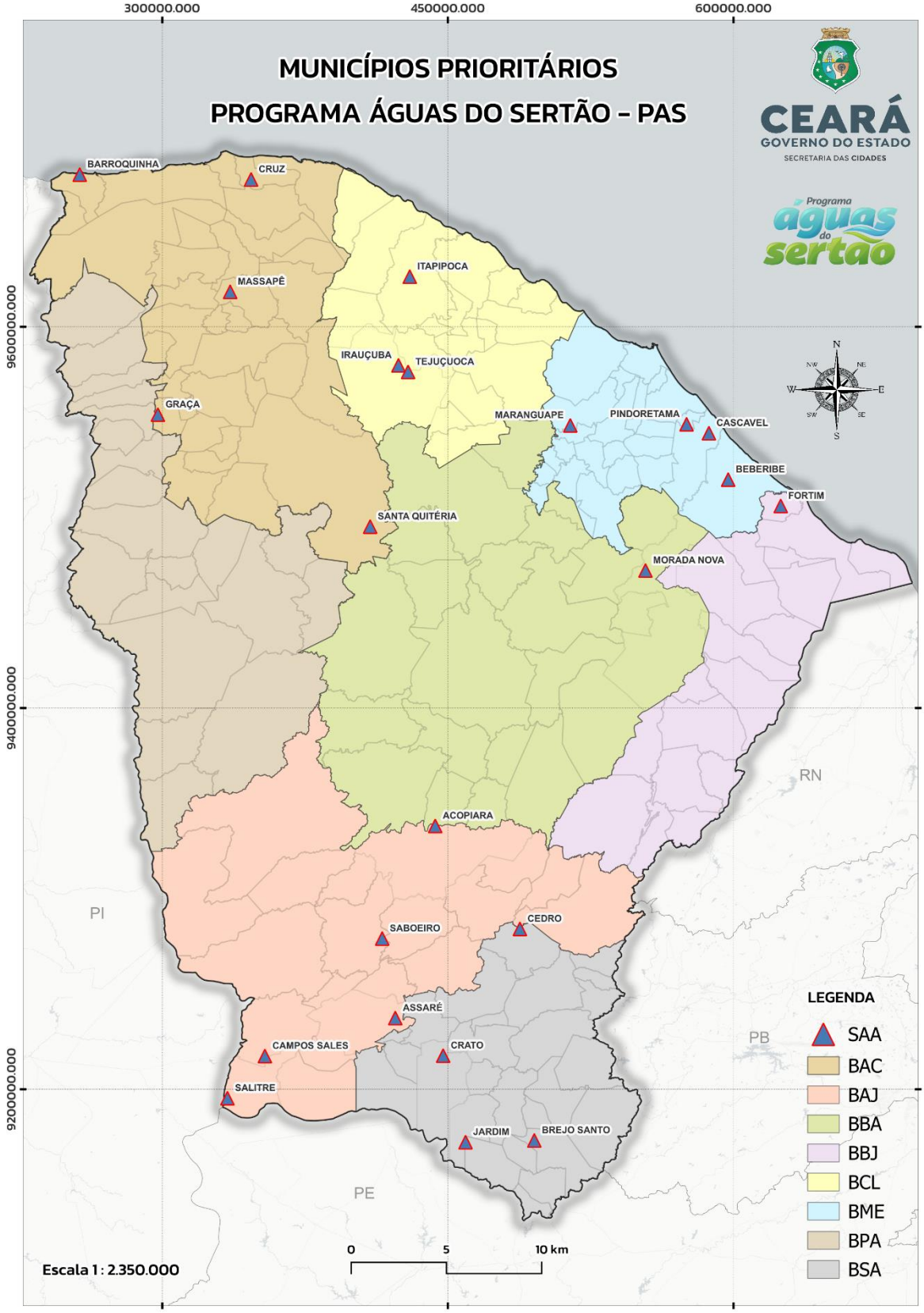
CARACTERIZAÇÃO DO PROGRAMA ÁGUAS DO SERTÃO

O presente estudo contempla 23 Sistemas de Abastecimento de Água (SAAs) localizados em comunidades rurais do Estado do Ceará, inseridos no âmbito do Programa Águas do Sertão, uma iniciativa da Secretaria das Cidades do Estado do Ceará financiada pelo banco de desenvolvimento alemão KfW. O programa tem como objetivo ampliar o acesso à água potável em áreas rurais, promovendo melhorias nas condições de saúde, qualidade de vida e desenvolvimento social das populações beneficiadas.

Na condição inicial de projeto, os sistemas atendem aproximadamente 50.320 habitantes, distribuídos em cerca de 12.580 ligações domiciliares. Considerando o horizonte de planejamento de 20 anos e adotando-se uma taxa de crescimento populacional de 2% ao ano, estima-se que a população beneficiada alcance aproximadamente 70.806 habitantes ao final do período de projeto.

A abrangência territorial e a diversidade das localidades contempladas evidenciam a importância do programa para a universalização do acesso à água em comunidades rurais do Ceará. Além disso, a integração de soluções sustentáveis, como a geração de energia por meio de sistemas fotovoltaicos, contribui para a redução dos custos operacionais dos SAAs, aumentando a eficiência e a sustentabilidade dos investimentos realizados.

Figura 1 - Mapa dos municípios do Programa Águas do Sertão - PAS



Fonte: Programa Águas do Sertão

Tabela 1 – Caracterização dos sistemas de abastecimento de água

Sistema	Município	Localidade	Ligações (und)	Populações em 2025 (Pessoas)
1	Acopiara	Complexo Pitombeira	425	1700
2	Assaré	Amaro	465	1860
3	Barroquinha	Curimãs	147	588
4	Beberibe	Complexo Alto Alegre	1481	5924
5	Brejo Santo	São Felipe	870	3480
6	Campos Sales	Caldeirões	589	2356
7	Cascavel	Jacarecoara e Barra Nova	1184	4736
8	Cedro	Complexo Delfino	276	1104
9	Crato	Complexo Sítio Bréa	432	1728
10	Cruz	Lagoa dos Monteiros	363	1452
11	Fortim	Volta Grande	486	1944
12	Graça	Pirituba	472	1888
13	Irauçuba	Complexo Cachoeira	132	528
14	Itapipoca	Complexo Gangorra	450	1800
15	Jardim	Horizonte	582	2328
16	Maranguape	Complexo Rato	258	1032
17	Massapê	Complexo Grossos	512	2048
18	Morada Nova	Boa Água	536	2144
19	Pindoretama	Complexo Capim da Roça	1609	6436
20	Saboeiro	Sítio Felipe e Barrinha	479	1916
21	Salitre	Complexo Sítio Roncador	168	672
22	Santa Quitéria	Morrinhos e Queimadas	110	440
23	Tejuçuoca	Monte Carmelo	554	2216

Fonte: elaboração própria a partir de dados do PAS 2026.

A **Figura 1** apresenta a localização geográfica das 23 localidades do Estado do Ceará contempladas pelo Programa Águas do Sertão, evidenciando a distribuição espacial dos Sistemas de Abastecimento de Água (SAAs) analisados neste estudo. Essas localidades também foram selecionadas para a implantação de sistemas fotovoltaicos destinados à compensação parcial ou total do consumo de energia elétrica associado à operação dos sistemas de abastecimento.

Por meio da Ata de Registro de Preços prevista pelo programa, será possível implementar as usinas fotovoltaicas nas localidades contempladas, beneficiando diretamente cerca de 12.580 residências rurais. Considerando uma média de quatro habitantes por domicílio, estima-se que aproximadamente 50.320 pessoas sejam atendidas pelas intervenções propostas.

A implantação dos Sistemas de Abastecimento de Água associada à geração de energia solar representa um importante avanço para o desenvolvimento sustentável das comunidades rurais, contribuindo para a ampliação do acesso à água potável, a redução dos custos operacionais dos sistemas e a melhoria da qualidade de vida da população beneficiada. Dessa forma, o projeto promove não apenas ganhos de eficiência energética, mas também impactos sociais significativos, proporcionando maior dignidade, saúde e segurança hídrica às comunidades atendidas.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

Tabela 2 – Dados Técnicos dos Sistemas

Sistema	Município	Localidade	Ligações (Und)	Adutora (m)	Rede (m)	Tubulação (m)
1	Acopiara	Complexo Pitombeira	425	31542,33	45470	13928
2	Assaré	Amaro	465	25304,26	30380	5076
3	Barroquinha	Curimãs	147	3704,93	3910	205
4	Beberibe	Complexo Alto Alegre	1481	74303,67	91312	17008,67
5	Brejo Santo	São Felipe	870	36118,24	39267	3149
6	Campos Sales	Caldeirões	589	34569,82	40334	5764
7	Cascavel	Jacarecoara e Barra Nova	1184	24521,89	31782	7260
8	Cedro	Complexo Delfino	276	25932,41	28676	2743
9	Crato	Complexo Sítio Bréa	432	16661,15	19526	2865
10	Cruz	Lagoa dos Monteiros	363	22986,97	31104	8116,56
11	Fortim	Volta Grande	486	7978,41	19946	11968
12	Graça	Pirituba	472	22907,60	35126	12218,47
13	Irauçuba	Complexo Cachoeira	132	18921,21	32806	13884,98
14	Itapipoca	Complexo Gangorra	450	450	48346	10127
15	Jardim	Horizonte	582	582	38742	8430
16	Maranguape	Complexo Rato	258	258	35670	13597
17	Massapê	Complexo Grossos	512	512	33177	13605,76
18	Morada Nova	Boa Água	536	536	47494	16176,12
19	Pindoretama	Complexo Capim da Roça	1609	1609	47024	8552
20	Saboeiro	Sítio Felipe e Barrinha	479	479	18075	2488
21	Salitre	Complexo Sítio Roncador	168	168	6631	394
22	Santa Quitéria	Morrinhos e Queimadas	110	110	9980	2987
23	Tejuçuoca	Monte Carmelo	554	554	23311	7303,76
			12.580	187.846,90	570.242,26	758.089,16

Fonte: elaboração própria a partir de dados do PAS 2026.

Observa-se que os 23 Sistemas de Abastecimento de Água (SAAs) contemplados neste estudo apresentam características bastante distintas entre si, principalmente quanto ao número de ligações domiciliares, extensões de redes de distribuição, adutoras e estruturas de reservação. Conforme apresentado na Tabela 2, os sistemas totalizam aproximadamente 12.580 ligações e possuem cerca de 758.089,16 metros de tubulações implantadas, evidenciando a diversidade e a complexidade operacional dos empreendimentos analisados.

Diante dessa heterogeneidade, a elaboração de projetos fotovoltaicos individualizados para cada sistema demandaria elevado esforço técnico, além de maior tempo de desenvolvimento e custos associados. Dessa forma, optou-se pela concepção de uma usina fotovoltaica piloto, dimensionada a partir de critérios representativos dos sistemas estudados, com o objetivo de servir como modelo de referência para futuras replicações e adaptações nas demais localidades contempladas pelo programa.

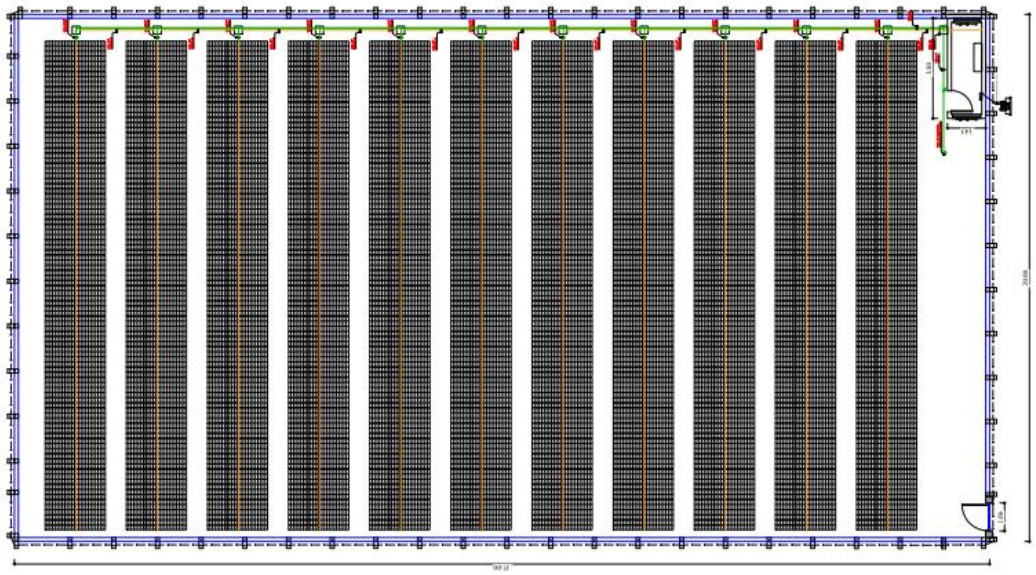
DESENVOLVIMENTO DO PROJETO FOTOVOLTAICO PADRÃO

Foi desenvolvido um projeto padrão de usina fotovoltaica com potência instalada de 107,36 kWp, com um inversor de 60kW de potência. O valor adotado é em função dos limites de conexão estabelecidos pela concessionária para unidades consumidoras em baixa tensão.

Para a instalação da usina, foi dimensionado a potência máxima disponibilizada para conexão em baixa tensão junto a ENEL distribuição Ceará, cujo limite para ligação é de 100A. Portanto, a potência máxima para o inversor comercial é de 60kW.

Foi escolhido um overload maior que o recomendado na literatura que é de 30%, para aumento da geração média anual, obedecendo recomendações do fabricante.

Figura 2 - Projeto padrão da usina fotovoltaica



Fonte: Programa Águas do Sertão

Conforme apresentado na **Figura 2**, foi adotado um terreno com dimensões mínimas de 20 m × 37 m, totalizando uma área de 740 m², destinada à implantação da usina fotovoltaica piloto. O arranjo proposto é composto por 11 estruturas de solo (mesas), cada uma contendo 16 módulos fotovoltaicos de 610 Wp, totalizando 176 módulos e uma potência instalada de 107,36 kWp.

Para a conversão da energia gerada, foi especificado um inversor com potência nominal de 60 kW, devidamente dimensionado para atender às características do sistema. Adicionalmente, foi prevista uma edificação de apoio para abrigar os equipamentos elétricos e de proteção, com dimensões de 1,45 m × 3,80 m.

Visando garantir a segurança patrimonial e operacional da instalação, o projeto contempla o cercamento perimetral por meio de mourões de concreto pré-moldado, cerca de arame farpado com sete fios e mureta de proteção com altura de 0,70 m.

A concepção adotada prioriza critérios de simplicidade construtiva, viabilidade econômica e facilidade de execução, resultando em um modelo padronizado e de fácil replicação.

Dessa forma, o projeto piloto pode ser utilizado como referência para implantação em outros Sistemas de Abastecimento de Água contemplados pelo programa, reduzindo o tempo de elaboração dos projetos, os custos de engenharia e os prazos de implementação das futuras usinas fotovoltaicas.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA USINA PADRÃO

O sistema utilizado para produção de energia, com as especificações técnicas a seguir encontra-se na **Tabela 3**. O sistema é composto por 11 strings de 16 módulos totalizando 176 módulos e uma potência instalada de 107,36kWp, com inversor trifásico de 60kW.

Tabela 3 – Características Técnicas da Usina Fotovoltaica Modelo

Potência Usina	Quantidade de Módulos	Potência Módulos	Potência Inversor	Área Usina
107,36kWp	176	610 Wp	60,0kW	740m²

Fonte: elaboração própria a partir de dados do PAS 2026.

A usina foi padronizada para uma área mínima de 20 x 37m, para facilitar o processo de implantação e simplificar a especificação. A produção média estimada é de 12.000kWh/mês, que será utilizada para compensar a energia utilizada nos sistemas de abastecimento de água SAAs.

Figura 3 - Usina solar fotovoltaica padrão



Fonte: Própria, renderizado no Sketchup AI

A energia gerada em cada usina será compensada primeiramente no sistema de abastecimento do município onde estiver instalada, e o excedente será distribuído para suprir a demanda dos demais sistemas, conforme a Resolução Normativa ANEEL n° 1.098/2024.

Nesta primeira etapa do programa, serão implantadas 14 usinas fotovoltaicas padrão, distribuídas em 13 localidades — sendo duas usinas no sistema Boa Água, em Morada Nova —, conforme a Tabela 4. A energia gerada será compensada nos Sistemas de Abastecimento de Água por meio do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), na modalidade de autoconsumo remoto.

Tabela 4 – Distribuição das usinas fotovoltaicas por localidade

Sistema / Localidade	Município	Nº de usinas
São Felipe	Brejo Santo	1
Complexo Pitombeira	Acopiara	1
Amaro	Assaré	1
Complexo Sítio Roncador	Salitre	1
Complexo Delfino	Cedro	1
Complexo Cachoeira	Irauçuba	1
Monte Carmelo	Tejuçuoca	1
Complexo Alto Alegre	Beberibe	1
Jacarecoara e Barra Nova	Cascavel	1
Complexo Rato	Maranguape	1
Morrinhos e Queimadas	Santa Quitéria	1
Pirituba	Graça	1
Boa Água	Morada Nova	2
Total	—	14

Fonte: elaboração própria (2026)

RESULTADOS DA SIMULAÇÃO ENERGÉTICA

Para quantificar o desempenho energético esperado da usina padrão, foi realizada simulação computacional no software PVsyst, considerando os módulos Canadian Solar de 610 Wp (Canadian Solar - CS7L-610MB-AG) e o inversor Solis de 60 kW (SOLIS - S5-GC60K) especificados no projeto.
As usinas serão implantadas em 13 localidades distintas, adotou-se como referência a irradiação solar média diária de 5,59 kWh/m².dia, correspondente à média de Fortaleza, com inclinação dos módulos de 10° e desvio azimutal de 180° (orientação sul).

As localidades contempladas com as usinas possuem irradiância superior ao valor estimado, portanto a geração média mensal encontra-se dentro do esperado, adotou-se na simulação o sentido sul, pois seria para as localidades no Ceará a condição onde o sistema produzirá a menor quantidade de energia, salientando as melhores condições que podem ser instalados de acordo com a localização dos terrenos.

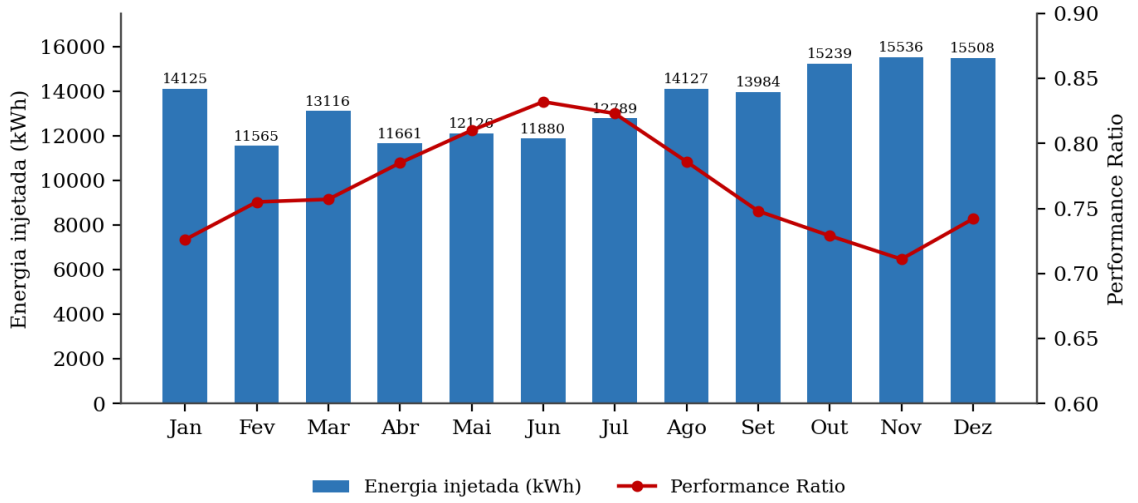
A simulação indicou energia injetada de 161.656 kWh no primeiro ano de operação, equivalente a uma média mensal de 13.471 kWh e a uma produtividade específica de 1.506 kWh/kWp.ano. O Performance Ratio (PR) médio ponderado foi de 0,764, variando entre 0,711 (novembro) e 0,832 (junho). Esses valores são compatíveis com o elevado carregamento do inversor adotado no projeto (overload de 79%), condição em que as perdas por limitação de potência (clipping) reduzem o PR nos meses de maior irradiação, em contrapartida ao aumento da geração média anual. A Tabela 5 e a Figura 4 apresentam os resultados mensais da simulação.

Tabela 5 – Energia injetada mensal e Performance Ratio da usina padrão (PVsyst)

Mês	Energia Injetada (kWh)	Performance Ratio (PR)
Janeiro	14.125	0,726
Fevereiro	11.565	0,755
Março	13.116	0,757
Abril	11.661	0,785
Maio	12.126	0,810
Junho	11.880	0,832
Julho	12.789	0,823
Agosto	14.127	0,786
Setembro	13.984	0,748
Outubro	15.239	0,729
Novembro	15.536	0,711
Dezembro	15.508	0,742
Total / PR médio	161.656	0,764

Fonte: elaboração própria (2026).

Figura 4 – Energia injetada mensal e Performance Ratio da usina padrão (simulação PVsyst)



Fonte: elaboração própria, a partir de simulação no PVsyst (2026).

Cabe registrar que o projeto já foi licitado, a empresa executora contratada e as usinas encontram-se em fase de execução, com conclusão prevista até o final de 2026. Dessa forma, os indicadores de geração efetiva e a comparação entre a produção real e a simulada serão consolidados após a entrada em operação comercial das usinas, por meio do monitoramento remoto dos inversores, e serão objeto de trabalhos futuros.

ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA

A avaliação econômica foi realizada com base nas tarifas homologadas pela ANEEL para a Enel Distribuição Ceará, subgrupo B3 convencional, por meio da Resolução Homologatória nº 3.574/2026 (vigência de 22/04/2026 a 21/04/2027): TUSD de R$ 0,48878/kWh e TE de R$ 0,26099/kWh, totalizando tarifa cheia de R$ 0,74977/kWh — base comparável ao valor unitário apresentado nas contas de energia (sem impostos). Para a projeção, adotou-se reajuste tarifário médio de 5,6% ao ano, correspondente à variação observada entre as Resoluções Homologatórias nº 3.445/2025 e nº 3.574/2026.

As usinas enquadram-se na regra de transição da Lei nº 14.300/2022 (GD II), na qual a energia compensada passa a pagar uma parcela crescente da componente TUSD Fio B: 60% em 2026, 75% em 2027, 90% em 2028 e 100% a partir de 2029. Para a Enel CE, o Fio B corresponde a 62,76% da TUSD (derivado dos percentuais de desconto da Tabela 4 da REH nº 3.445/2025), equivalente a R$ 0,30674/kWh na tarifa vigente. A economia unitária corresponde, portanto, à tarifa cheia deduzida da parcela do Fio B paga sobre a energia compensada.

O investimento por usina é de R$ 407.616,69, conforme Ata de Registro de Preços do programa (valor final, já incluído o BDI). Foram considerados ainda custo de operação e manutenção de 1% do CAPEX ao ano, degradação dos módulos de 0,45% ao ano, horizonte de análise de 25 anos com início da operação em 2027 e Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 14,25% ao ano, equivalente à taxa Selic vigente (julho de 2026). As premissas estão consolidadas na Tabela 6.

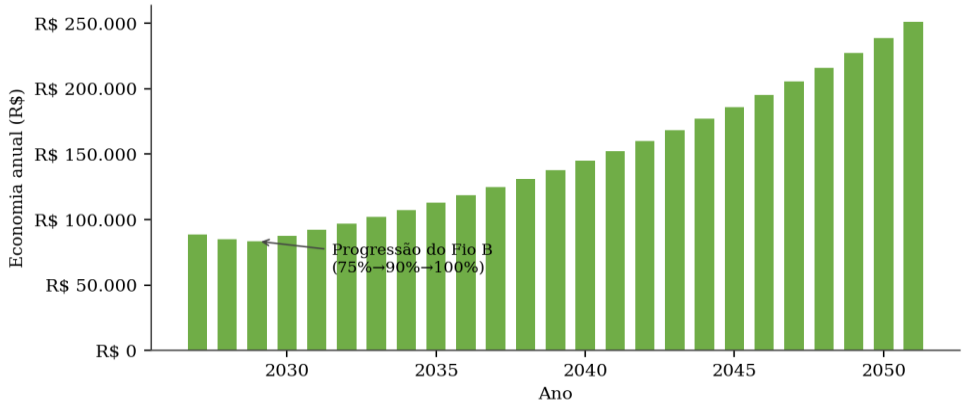
Tabela 6 – Premissas da análise econômico-financeira

Parâmetro	Valor adotado
Tarifa B3 convencional (TUSD + TE) – REH nº 3.574/2026	R$ 0,74977/kWh
TUSD Fio B – Enel CE	R$ 0,30674/kWh (62,76% da TUSD)
Parcela do Fio B paga (Lei nº 14.300/2022 – GD II)	75% (2027); 90% (2028); 100% (2029+)
Reajuste tarifário médio	5,6% a.a.
Investimento por usina (CAPEX)	R$ 407.616,69
Operação e manutenção (O&M)	1% do CAPEX ao ano
Degradação anual dos módulos	0,45% a.a.
Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	14,25% a.a. (Selic vigente)
Horizonte de análise	25 anos (2027–2051)

Fonte: elaboração própria (2026).

Com essas premissas, a economia estimada no primeiro ano de operação (2027) é de R$ 88,7 mil por usina, totalizando cerca de R$ 1,24 milhão por ano para as 14 usinas do programa. A Figura 5 apresenta a evolução da economia anual por usina, na qual se observa o efeito da progressão do Fio B entre 2027 e 2029, seguido do crescimento decorrente dos reajustes tarifários.

Figura 5 – Economia anual estimada com energia elétrica por usina



Fonte: elaboração própria, a partir de dados da ANEEL (2026).

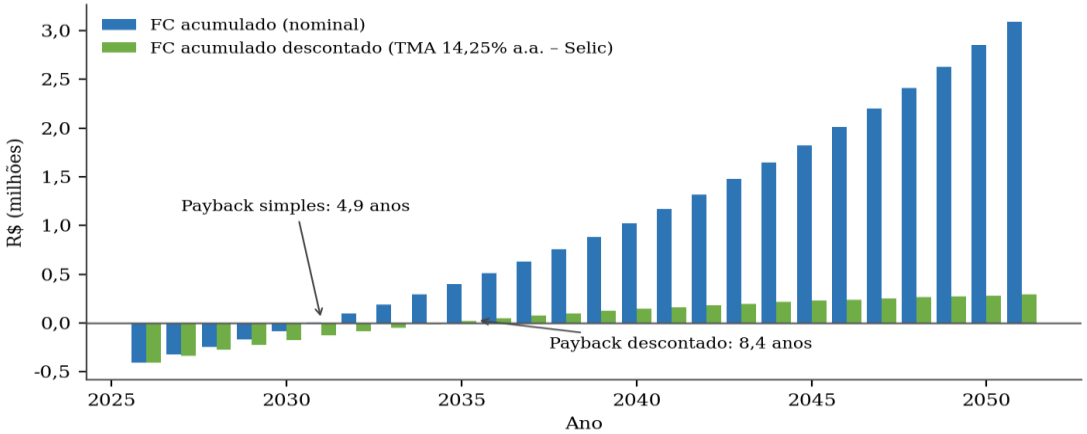
Os indicadores de viabilidade obtidos estão resumidos na Tabela 7. A Taxa Interna de Retorno (TIR) de 22,9% ao ano supera em cerca de 8,7 pontos percentuais a taxa Selic vigente (14,25% a.a.), adotada como TMA, o tempo de retorno do investimento (payback simples) é de 4,9 anos — cerca de 20% da vida útil das usinas — e o Valor Presente Líquido (VPL) é de R$ 294,4 mil por usina, o que demonstra a robustez econômica da solução mesmo com o pagamento integral do Fio B a partir de 2029.

Tabela 7 – Indicadores econômico-financeiros do investimento

Indicador	Por usina	Programa (14 usinas)
Investimento inicial	R$ 407,6 mil	R$ 5,71 milhões
Economia no 1º ano de operação (2027)	R$ 88,7 mil	R$ 1,24 milhão
Economia acumulada em 25 anos	R$ 3,69 milhões	R$ 51,7 milhões
TIR	22,9% a.a.	22,9% a.a.
Payback simples	4,9 anos	4,9 anos
Payback descontado (TMA 14,25% a.a.)	8,4 anos	8,4 anos
VPL (TMA 14,25% a.a.)	R$ 294,4 mil	R$ 4,12 milhões
Retorno sobre o investimento (ROI) em 25 anos	759%	759%

Fonte: elaboração própria (2026).

Figura 6 – Fluxo de caixa acumulado e payback do investimento por usina



Fonte: elaboração própria (2026).

BENEFÍCIOS AMBIENTAIS

Em conjunto, as 14 usinas fotovoltaicas injetarão aproximadamente 2.263 MWh por ano de energia renovável no sistema de distribuição. Considerando o fator médio de emissão do Sistema Interligado Nacional publicado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação na plataforma SIRENE (MCTI, 0,0385 tCO2/MWh), estima-se que a geração evitará a emissão de cerca de 87 toneladas de CO2 por ano, o que corresponde a aproximadamente 2.065 toneladas de CO2 ao longo dos 25 anos de operação.

Além da redução das emissões, a geração distribuída junto às cargas contribui para a diminuição das perdas elétricas nas redes de distribuição, para o alívio do carregamento do sistema em áreas rurais e para o fortalecimento da matriz energética renovável do Estado do Ceará. Do ponto de vista social, a economia obtida com a energia libera recursos permanentes para a operação e manutenção dos SAAs, favorecendo a sustentabilidade da prestação dos serviços de abastecimento de água às comunidades atendidas.

RESULTADOS E CONCLUSÕES

O desenvolvimento de um projeto fotovoltaico padronizado para os Sistemas de Abastecimento de Água do Programa Águas do Sertão mostrou-se uma estratégia eficaz para viabilizar a implantação em escala, reduzindo prazos de elaboração de projetos, simplificando os processos de aquisição por meio de Ata de Registro de Preços e facilitando a execução, a operação e a manutenção das usinas.

Os sistemas que serão implantados, reduzirão o custo de energia para o sistema, reduzindo as tarifas paga pelos consumidores, visto que em um sistema de abastecimento de água, a energia elétrica corresponde a um valor considerável no custo final da água. Além do retorno financeiro, temos os benefícios ambientais, o Ceará desponta como grande potencial de recurso para energias renováveis, portanto aproveitar essa fonte de recurso inesgotável e abundante, ajuda na redução de combustíveis fosseis, reduzindo emissões e gases que produzem o efeito estufa.

A energia gerada em cada usina será compensada primeiramente no sistema de abastecimento do município onde estiver instalada, e o excedente será distribuído para suprir a demanda dos demais sistemas, conforme a Resolução Normativa ANEEL n° 1.098/2024.

Os indicadores quantitativos obtidos confirmam a viabilidade técnica e econômica da solução: geração simulada de 161.656 kWh/ano por usina (PR médio de 0,764), economia estimada de R$ 88,7 mil por usina no primeiro ano de operação (R$ 1,24 milhão/ano para o programa), TIR de 22,9% ao ano, payback simples de 4,9 anos, payback descontado de 8,4 anos, VPL de R$ 294,4 mil por usina à TMA de 14,25% ao ano (taxa Selic vigente) e ROI de 759% no horizonte de 25 anos, já considerando a progressão do pagamento do Fio B prevista na Lei nº 14.300/2022 (GD II) e o reajuste médio das tarifas da Enel CE. Do ponto de vista ambiental, estima-se que as 14 usinas evitem a emissão de cerca de 87 tCO2 por ano.

Como as usinas se encontram em fase de execução, com conclusão prevista até o final de 2026, recomenda-se, como continuidade deste trabalho, o acompanhamento da geração efetiva por meio do monitoramento remoto dos inversores e a comparação entre os resultados reais e os simulados, bem como a atualização periódica dos indicadores econômicos em função das revisões tarifárias da concessionária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Resolução Homologatória nº 3.445, de 15 de abril de 2025. Homologa o resultado do Reajuste Tarifário Anual de 2025, as Tarifas de Energia – TE e as Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição – TUSD referentes à Companhia Energética do Ceará – Enel CE. Brasília: ANEEL, 2025. Disponível em: https://portalrelatorios.aneel.gov.br/luznatarifa/basestarifas. Acesso em: 29 jul. 2026.

2. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Resolução Homologatória nº 3.574, de 22 de abril de 2026. Homologa o resultado do Reajuste Tarifário Anual de 2026, as Tarifas de Energia – TE e as Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição – TUSD referentes à Companhia Energética do Ceará – Enel CE. Brasília: ANEEL, 2026. Disponível em: https://portalrelatorios.aneel.gov.br/luznatarifa/basestarifas. Acesso em: 26 jul. 2026.

3. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Resolução Normativa nº 1.098, de 2024. Aprimora as regras do Sistema de Compensação de Energia Elétrica – SCEE e da micro e minigeração distribuída. Brasília: ANEEL, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/aneel. Acesso em: 25 jul. 2026.

4. BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 7 jan. 2022.

5. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO – MCTI. Fatores de emissão de CO2 da geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional – fator médio para inventários corporativos. Brasília: MCTI/SIRENE. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao. Acesso em: 25 jul. 2026.

6. PVSYST SA. PVsyst – Photovoltaic systems software, versão 8. Satigny, Suíça: PVsyst SA, 2026.