

DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE PARA SISTEMA INTEGRADO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM COMUNIDADE RURAL NO ESTADO DO CEARÁ

Maria Amanda de Lima Silva¹
Antônio Alisson Pessoa Guimaraes²

RESUMO

A busca por fontes de energias limpas e renováveis é crescente em todo o mundo. Na matriz energética Brasileira, a produção de energia advinda de fontes renováveis foi de 49,1% em 2023, um percentual elevado comparado aos demais países do mundo. A geração de energia solar fotovoltaica ocorre por meio da conversão direta da radiação solar em eletricidade, fenômeno conhecido como efeito fotovoltaico. Os sistemas fotovoltaicos são bastantes versáteis tanto em tamanho quanto nas localizações de utilização, podendo ser utilizados tanto em sistemas autônomos (*off grid*), quanto em sistemas interligados à rede elétrica (*on grid*), além da possibilidade dos sistemas híbridos. O Ceará possui um grande potencial de produção desse tipo de energia, pois conta com expressivos índices de irradiação em seu território. Além do potencial de geração solar, o Ceará também é referência na gestão de Sistemas de Abastecimento de Água (SAA), através do modelo de Gestão Comunitária Rural do Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR). Para a realização deste trabalho, realizou-se pesquisa bibliográfica, estudo do consumo de energia elétrica, dimensionamento do sistema fotovoltaico para atendimento da demanda e estimativa da redução das emissões de CO₂. Neste contexto, este trabalho busca o dimensionamento de um sistema fotovoltaico para atender um SAA no município de Itapipoca (CE), bem como estimar a redução das emissões de CO₂ proporcionada pelo uso da energia solar. Os resultados foram promissores demonstrando que através da instalação de 498 painéis fotovoltaicos de 550Wp é possível gerar uma redução anual de 19,62 tCO₂ na atmosfera.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Sistema de Abastecimento de Água. Saneamento Rural. Energia solar.

ABSTRACT

The search for clean and renewable energy sources is growing worldwide. In the Brazilian energy matrix, the production of energy from renewable sources was 49.1% in 2023, a high percentage compared to other countries in the world. The generation of photovoltaic solar energy occurs through the direct conversion of solar radiation into electricity, a phenomenon known as the photovoltaic effect. Photovoltaic systems are quite versatile both in size and in usage locations, and can be used in both autonomous systems (*off-grid*) and grid-connected systems (*on-grid*), as well as in hybrid systems. Ceará has great potential for the production of this type of energy due to the high levels of solar irradiation in its territory. Besides the solar generation potential, Ceará is also a reference in the management of Water Supply Systems (SAA), through the model of Rural Community Management of the Integrated Rural Sanitation System (SISAR). For this work, bibliographic research was carried out, along with a study of electricity consumption, sizing of the photovoltaic system to meet the demand, and estimation of CO₂ emission reductions. In this context, this work proposes the sizing of a photovoltaic

¹ Discente da Especialização em Gestão de Recursos Hídricos Ambientais e Energéticos, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), amandalimacandido@gmail.com.

² Docente do Programa de Pós-graduação, PGEA da UNILAB, alisson@unilab.edu.br.

system to meet an SAA in the municipality of Itapipoca (CE), as well as to estimate the reduction of CO₂ emissions provided by the use of solar energy. The results were promising, demonstrating that through the installation of 498 photovoltaic panels of 550 Wp, it is possible to generate an annual reduction of 19.62 tons of CO₂ in the atmosphere.

Keywords: Sustainability. Water Supply System. Rural Sanitation. Solar energy.

1 INTRODUÇÃO

É crescente na atualidade a busca por fontes de energias limpas e renováveis, impulsionada, principalmente, pelas ações do efeito estufa no planeta. Uma das matrizes energéticas mais renováveis do mundo é a brasileira, visto a variedade de recursos energéticos renováveis disponíveis no país, fato este traz o Brasil para o centro da transição energética que busca atenuar as ações das mudanças climáticas (Simioni, 2017).

A principal fonte de geração de energia elétrica no Brasil é a proveniente de usinas hidroelétricas, representando 58,9% da produção em 2023 (EPE, 2024). Segundo Tolmasquim (2016) a liderança da produção desse tipo de energia dar-se pela sua competitividade econômica, bem como pela abundância deste recurso energético no país, entretanto sua produção sofre influência das vazões afluentes, que são variáveis em decorrência da existência ou não de períodos de estiagem, além de apresentar variabilidade sazonal.

Desta forma, é fundamental a diversificação das fontes que compõem a matriz energética brasileira. Nesse contexto, a energia solar mostra-se como uma das mais promissoras formas de produção de energia, pois baseia-se no aproveitamento da energia fornecida pelo sol, sendo uma fonte limpa e gratuita de energia (IPEA, 2018, p. 7).

Embora este país possua um imenso potencial de geração de energia das mais diversas fontes e uma das maiores reservas de água do mundo, infelizmente, ainda hoje uma grande parcela da população brasileira não tem acesso a recursos essenciais como água e energia (Moreira, 2012). Segundo o Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR), 33,5 % da população residente nas zonas rurais possuem atendimento precário³ de abastecimento de água e 26% dessa população não dispõe desse serviço (PNSR, 2019, p.68).

O modelo de gestão do Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR) é citado no PNSR como uma experiência com área de abrangência regional e local (PNSR, 2019). Criado com o propósito de gerir os sistemas de abastecimento de água implantados em comunidades rurais, foi implantado em 1996 pelo Governo do Estado do Ceará, por meio da Companhia de água e esgoto do Ceará (CAGECE) com a cooperação do Banco de Desenvolvimento Alemão (KfW), dos municípios e das comunidades atendidas (Costa *et al.*, 2021).

³ No PNSR atendimento precário é entendido com população que: Recebe água da rede de distribuição, fora dos padrões de potabilidade e/ou com intermitência prolongada no fornecimento; recebe água de poço ou nascente, mas não possui canalização intradomiciliar, e/ou recebe água fora dos padrões de potabilidade e, ou, está sujeita a intermitência prolongada; utiliza água de cisterna de captação de água de chuva que forneça água sem segurança sanitária e/ou em quantidade insuficiente para a proteção à saúde; utiliza água de chafariz ou caixa abastecidos por carro pipa (PNSR, 2019).

Desde o lançamento do SISAR houve várias mudanças as questões energéticas e a tendência de mudança para fontes de energias mais limpas e econômicas está presente também nas comunidades rurais do Ceará, mais especificamente no uso da energia solar para o abastecimento de água nessas comunidades. Através da implantação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR), busca-se suprir parte da demanda de energia elétrica para esse fim, proporcionando uma redução no custo das faturas dos usuários da água, bem como a redução das emissões de CO₂ (Rabelo *et al.*, 2023).

Neste contexto, esta pesquisa tem como objetivo principal dimensionar um sistema fotovoltaico para um SAA que está sendo implantado em Itapipoca, no Ceará, e, através desse dimensionamento, estimar a redução das emissões de CO₂ proporcionada pelo uso da energia solar.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Energia Limpa Como Objetivo de Desenvolvimento Sustentável

No ano de 2015, os países-membros da Organização das Nações Unidas (ONU) outorgaram a agenda universal 2030⁴, na qual busca-se através desse plano de ação global promover o desenvolvimento sustentável (Frey *et al.*, 2020).

Tem-se ao todo 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) e 169 metas, onde busca-se através destes solucionar os grandes desafios de sustentabilidade da sociedade moderna. Os ODSs são constituídos de forma integrada e indivisível equilibrando os três pilares do desenvolvimento sustentável: o social, o ambiental e o econômico (TCE/MS, 2018).

Dentre os 17 ODSs, o objetivo de número sete trata do tema: “Energia Limpa e Acessível - assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos” (ONU, 2015). Ressalta-se que a expressão energia limpa se refere a fontes que não são derivadas de fontes fósseis como o petróleo, o gás natural e o carvão mineral (Frey *et al.*, 2020).

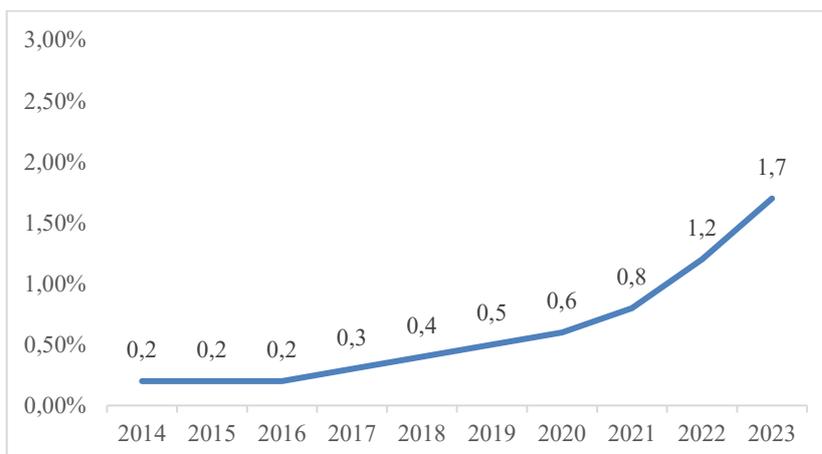
2.2 Matriz Energética Renovável Brasileira e a Energia Solar

O Brasil destaca-se no cenário mundial por possuir alto percentual de fontes renováveis em sua oferta interna de energia (OIE), estando entre suas principais fontes renováveis a energia hidráulica, a biomassa, a eólica e a solar (Ben, 2024).

No ano de 2023, a participação de fontes renováveis na matriz energética nacional chegou à marca de 49,1%, um aumento de 1,7% em relação ao ano de 2022, quando o percentual era de 47,4%. Esse crescimento foi impulsionado pelo aumento da produção de energia elétrica através de fontes solares, eólicas e da biomassa. Em comparação, os demais países do globo, no ano de 2022, possuíam apenas 14,7% de suas fontes de energia advindas de fontes renováveis (Ben, 2024).

A energia solar, por sua vez, no ano de 2023, representava nessa matriz apenas 1,7% das fontes renováveis, incluindo as fontes solares térmicas e fotovoltaicas. Este índice apresenta-se tímido, mas a participação desse tipo de energia vem crescendo ao longo dos anos. Em 2014, esse índice era de apenas 0,2% da OIE (Ben, 2024), como mostra o gráfico 1.

⁴ O documento denomina-se na íntegra: Transformando o Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (Frey *et al.*, 2020).

Gráfico 1 - Participação da energia solar na OIE entre os anos 2014 e 2023

Fonte: Dados da Oferta Interna de Energia do EPE, disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/ben/>, elaborado pelo autor (2024).

O índice de energias renováveis na matriz elétrica nacional é ainda mais expressivo, pois, no ano de 2023, 89,2% da energia elétrica produzida no país foi advinda de fontes renováveis. A energia solar foi responsável pela geração de 50.633 GWh de energia nesse mesmo ano, um incremento de 68,1% comparado ao ano de 2022, quando a geração dessa fonte era de 30.126 GWh (Ben, 2024, p. 39 e 40).

2.2.1 Microgeração e Minigeração Fotovoltaica Distribuída (MMGD)

Utiliza-se o termo Geração Distribuída (GD) para definir o tipo de energia elétrica produzida no próprio local de consumo ou nas suas proximidades (AUDITECE, 2022). Os termos Microgeração e Minigeração Distribuída (MMGD) estão descritos na lei nº 14.300/2022⁵, artigo primeiro, nos incisos XI e XIII, respectivamente (Brasil, 2022).

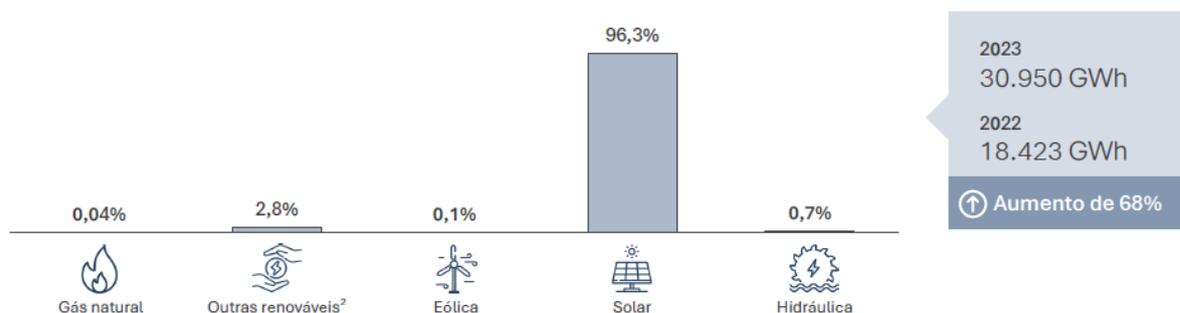
De maneira geral, esses termos são diferenciados através da potência instalada. Na microgeração distribuída, têm-se centrais geradoras de energia elétrica, com potência instalada, em corrente alternada, menor ou igual a 75 kW (setenta e cinco quilowatts). Já na minigeração distribuída, as centrais geradoras de energia elétrica possuem potência instalada, em corrente alternada, maior que 75 kW (setenta e cinco quilowatts) e menor ou igual a 5 MW (cinco megawatts) para as fontes despacháveis e menor ou igual a 3 MW (três megawatts) para as fontes não despacháveis (Brasil, 2022).

No ano de 2023, houve um grande incremento na MMGD, um aumento de aproximadamente 68% comparado ao ano anterior, alavancado pelo crescimento da energia

⁵ A legislação instituiu o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS).

solar fotovoltaica, que sozinha representa 96,3% dessa fonte de incremento, passando de 18.423 GWh em 2022 para 30.950 GWh em 2023 (Ben, 2024).

Figura 1 - Micro e Minigeração Distribuída (MMGD) em 2023



Fonte: Ben (2024).

2.3 Energia Solar Fotovoltaica

Impulsionado pela crescente necessidade geração de energia através de fonte de energias limpas a tecnologia de geração de fonte solar têm tido grandes avanços (Vian., *et al*, 2021).

Por várias décadas a oferta de energia fotovoltaica teve como principal obstáculo o alto custo que apresentava, no entanto, nos últimos anos houve uma expressiva expansão da utilização no mundo todo dessa tecnologia com redução de custo, graças a intensas pesquisas motivadas por incentivos de governo e demanda crescente por fontes limpas. Essa expansão se deve também à melhoria de rendimento e da confiabilidade dos módulos fotovoltaicos, bem como à grande flexibilidade que essa modalidade de geração tem, no estabelecimento do seu porte que pode ser projetado de modo ajustado com as necessidades (Vian., *et al*, 2021, p.11).

Conforme Bezerra (2021) a tecnologia fotovoltaica consiste na conversão direta da radiação solar em eletricidade, fenômeno conhecido como efeito fotovoltaico, esse processo dar-se por meio das células fotovoltaicas.

Segundo Vian.*et al* (2021), esse tipo de sistema apresenta muitos pontos positivos entre eles o baixo impacto ambiental, a flexibilidade de uso, visto a possibilidade de construção tanto de microcentrais, como também médias ou grandes centrais, além da facilidade de construção e operação desses sistemas.

Podem ser utilizadas tanto em sistemas autônomos, para o atendimento de regiões não conectadas a rede elétrica (*off grid*), estes podem ou não dispor de dispositivo para armazenamento da energia gerada, quanto em sistemas interligados à rede elétrica (*on grid*) (Vian., *et al*, 2021).

Há também os chamados sistemas híbridos em que há a utilização de outras fontes de energia combinadas ao sistema fotovoltaico (motores à diesel, gás ou geradores eólicos),

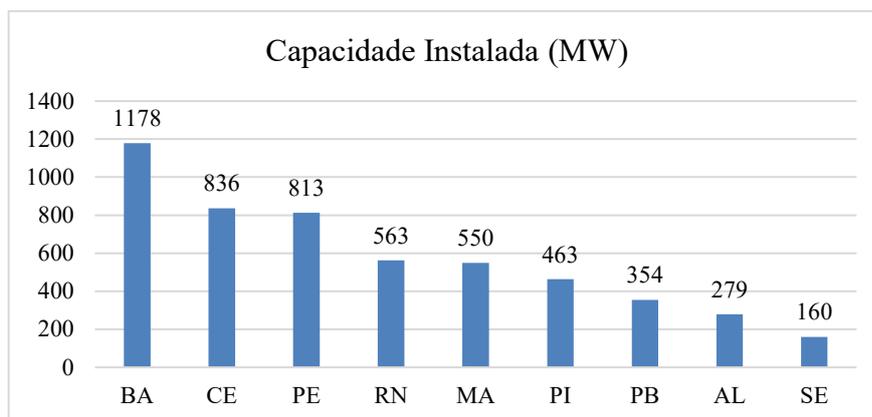
com o intuito de garantir o carregamento das baterias quando não for possível a produção solar (Pereira e Oliveira, 2015).

A lei nº 14.300/2022, institui o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), assegura que a energia ativa gerada por uma unidade consumidora seja de microgeração ou de minigeração distribuída seja fornecida à distribuidora local e que posteriormente possa ser compensada com o consumo de energia elétrica ativa seja dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora, desde que possuam a mesma titularidade (Brasil, 2022).

Ainda, a mesma lei define que, nos casos em que o fornecimento de energia disposta na rede seja maior do que a utilizada, haverá a geração de créditos de energia elétrica. Embora o saldo positivo de energia não possa ser revertido em dinheiro, poderá ser utilizado para abater o consumo em outras unidades consumidoras de mesma titularidade, em outro posto tarifário. Entretanto, esse abatimento só será possível se todas as unidades estiverem na mesma área de concessão. Os créditos possuem o prazo de 60 meses, após a data do faturamento, para serem utilizados (Brasil, 2022).

2.3.1 Setor fotovoltaico no Ceará

Através dos dados disponíveis no Painel de Dados de Micro e Minigeração Distribuída da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), observa-se que, no estado do Ceará, a capacidade instalada acumulada em sistemas MMGD fotovoltaicos é de 836 MW em 73.546 sistemas geradores fotovoltaicos, atendendo 93.329 consumidores, o que o coloca como o 11º estado do país em capacidade instalada e o segundo do Nordeste, estando atrás apenas da Bahia. A capital do estado, Fortaleza, está em sétimo lugar entre as capitais com maior capacidade instalada (EPE, 2024). O gráfico 2 ilustra a classificação dos estados nordestinos no ranking de capacidade instalada.

Gráfico 2 - Classificação dos estados nordestinos no ranking de capacidade instalada

Fonte: Dados Painel de Dados de Micro e Minigeração Distribuída do EPE, disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/pdgd/>, elaborado pelo autor (2024).

2.4 Saneamento Rural no Ceará e o Modelo de Gestão SISAR

Conforme o Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) grande parte da população que vive nas zonas rurais do país não dispõem de atendimento adequado de abastecimento de água (PNSR, 2019, p.68).

Segundo Castro e Cerezini (2023), universalizar o acesso aos serviços de saneamento em meio rural é um desafio, devido aos recursos financeiros insuficientes, à dispersão geográfica, à localização em áreas de difícil acesso, ao distanciamento das sedes municipais, além da inexistência de estratégias que incentivem a participação social e o empoderamento das populações rurais.

Para se alcançar a universalização do serviço de abastecimento de água nas zonas rurais, além de planejamento faz-se necessário a determinação da organização dos arranjos institucionais locais, que seja definido por quem e de forma serão realizados os serviços de operação e manutenção dos sistemas de abastecimento de água (Trata Brasil, 2018, apud Costa *et al*, 2021).

Com o objetivo de gerir os sistemas de abastecimento de água, implantados no interior do Ceará através do programa KfW I, surge o modelo de gestão SISAR (Lima, 2018). O Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR) juridicamente trata-se de uma associação civil de direito privado, não governamental, institucionalmente é formado por uma federação de associações comunitária filiadas, tendo como objetivo garantir a operação e manutenção de sistemas de água e esgoto nessas comunidades, constitui-se de um modelo com gestão compartilhada entre o SISAR e as associações comunitárias locais (Rocha, 2013).

Implantado em 1996 pelo Governo do Estado do Ceará, por meio da Companhia de

Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) com a cooperação do Banco de Desenvolvimento Alemão (KfW), dos municípios e das comunidades atendidas (Costa *et al.*, 2021). Ainda segundo Rocha (2013) o primeiro SISAR do estado do Ceará foi implantado na área correspondente a Bacia do Acaraú e Coreaú (SISAR BAC) na região do município de Sobral.

O modelo foi replicado pela CAGECE a partir de 2001, com a abertura de sete novas unidades, divididas em bacias hidrográficas, expandindo assim o modelo para todo o Ceará. Cabe destacar que os oito SISARs são autônomos e possuem personalidade jurídica própria (Rocha, 2013). A figura 2 ilustra a localização dos SISARs no estado.

Figura 2 - Localização dos SISARs no Estado do Ceará



Fonte: SISAR (2024), disponível em: <https://sisar.org.br/institucional/unidades-de-negocio/>.

Atualmente o SISAR encontra-se estabelecido, principalmente por ser um modelo de gestão passível de replicação, autossustentável e que trabalha de maneira eficaz no abastecimento de água nas comunidades rurais. Esse sucesso repercute dentro e fora do Brasil, os estados do Piauí e Bahia já possuem sistemas de saneamento rural baseados no modelo de

gestão SISAR. Países como Nicarágua, México, Nigéria, Etiópia e Estados Unidos também já vieram ao Ceará para conhecer os sistemas, para conhecer e replicar esses conhecimentos em suas regiões (Revista Cagece, 2ª ED. 2016).

No ano de 2018 o modelo de gestão foi vencedor do Prêmio Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), na categoria “Organização sem fins lucrativos”. Esse prêmio foi lançado pelo Governo Federal visando incentivar, valorizar e dar visibilidade as iniciativas que ajudam a alcançar as metas da Agenda 2030 (Revista Cagece, 12ª ED. 2020).

Cortez (2015) afirma que nesse o modelo de gestão de saneamento rural o estado é responsável pela execução das infraestruturas dos SAAs. Costa *et al* (2021) cita que o implante desses sistemas é através de programas financiamentos, sendo os principais o Projeto São José, o Programa Águas do Sertão, que em outrora denominava Projeto KfW e o Programa Água Para Todos. Há também SAAs que são executados pelas Prefeituras ou por outros órgãos como a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA).

O projeto São José em especial que encontra na sua 4ª edição busca além de ampliar do acesso à água e saneamento através da execução de sistemas de abastecimento de água e módulos sanitário, busca também fortalecer as comunidades através da promoção de ações das suas demais componentes que trabalham a inclusão econômica sustentável e o fortalecimento institucional. Encontra-se orçado para o Projeto São José IV no componente - Expansão dos Serviços de Água e Soluções de Esgoto o valor de 49,13 US\$ Milhões (PSJ. 2020).

2.5 Uso de Sistemas Fotovoltaicos para Abastecimento de Água em Meio Rural

2.5.1 Sistema fotovoltaico de bombeamento (SFB)

Utilizados geralmente para o bombeamento de água de poço tubulares profundos nesses sistemas as bombas são acionadas através da energia fotovoltaica gerada de maneira autossuficiente, visto que o bombeamento da água ocorre acontece quando os painéis recebem a incidência da luz solar. Este tipo de sistema sendo vem instalados nos estados como o Ceará, Pernambuco, Piauí, Alagoas e Minas Gerais pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), (Dnocs, 2023). A figura 3 ilustra o sistema instalado.

Figura 3 - Sistema fotovoltaico de bombeamento instalado pelo Programa Saneamento Brasil Rural no Ceará



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Nesse tipo de sistema os receptores consomem de imediato a energia produzida pelas células fotovoltaica, tem como grande vantagem o menor custo de implantação, visto que não utilizam baterias para armazenamento de energia (Pereira e Oliveira, 2015).

2.5.2 Sistema fotovoltaico conectados à rede (SFCR) geridos pelo SISAR

No ano 2017 foram implantados seis SFCR em diferentes cidades do Estado do Ceará. A ideia com a instalação desses dispositivos era de suprir parte da demanda de energia elétrica utilizada para o funcionamento do SAA a eles vinculados, proporcionando assim uma redução do custo das faturas de águas dos usuários da água, bem como na redução das emissões de CO₂ (Rabelo *et al.*, 2023). Os sistemas fotovoltaicos foram instalados nos municípios de: Aiuaba, Alcântaras, Capistrano, Farias Brito, Itapipoca e Jaguaruana.

Conforme o estudo realizado por Rabelo *et al* (2023) na Comunidade de Sítio Volta, município de Jaguaruana, em 12 meses de produção, o SFCR apresentou uma média mensal de 888,50 kWh e soma total de 10.662 kWh e a redução das emissões de CO₂ proporcionada pelo uso da energia solar o foi de 4,68 toneladas. Na figura 4, tem-se o SFCR instalado na comunidade, constituído de 22 módulos policristalinos de 275 W.

Figura 4 -SFCR implantado na comunidade de Sítio Volta, Jaguaruana (CE)



Fonte: Rabelo *et al* (2023).

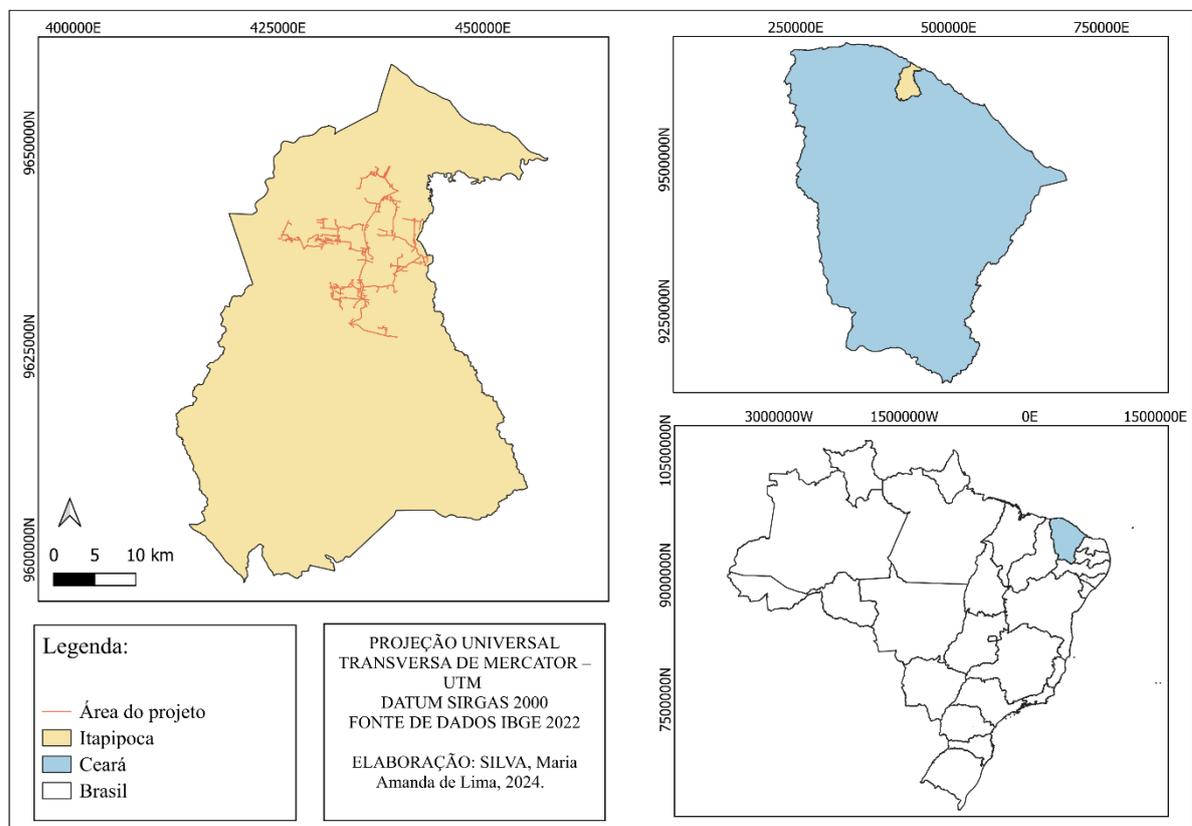
3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área de estudo

O Sistema de Abastecimento de Água (SAA) objeto do estudo está sendo executado na cidade de Itapipoca (CE), projetado para atender de maneira integrada a 22 comunidades rurais deste município. Estima-se que 9.476 pessoas serão beneficiadas no primeiro ano do projeto implantado.

Conforme o IPECE (2017) o município de Itapipoca encontra-se localizado na região norte do estado do Ceará, com 1.614,2 km² de área, inserido na bacia hidrográfica do Litoral. Apresenta clima Tropical Quente Semiárido e Tropical Quente Semiárido Brando, sua média de pluviométrica anual é de 1.130,4 mm. O relevo do município é formado por Depressões Sertanejas, Maciços Residuais, Glacis Pré-litorâneos Dissecados em Interflúvios Tabulares e Planícies Litorâneas. A figura 5 apresenta a localização do município de Itapipoca e a área de estudo. A figura 5 ilustra a localização e área de abrangência da área de estudo.

Figura 5 - Área de Estudo



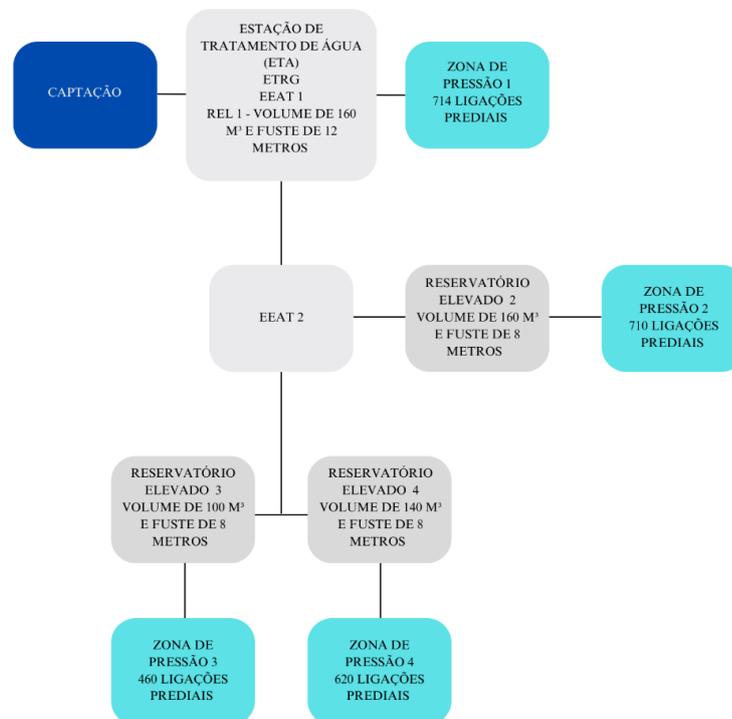
Fonte: Elaborado pelo autor (2024), com base nos dados do IBGE (2022).

3.1.1 Descrição do SAA

O SAA possui vazão de captação de 84.489 m³/h, regime de bombeamento de 21h, totalizando assim uma vazão diária de 1.774,269 m³/d. Dimensionando para o período de 20 anos, objetiva-se abastecer inicialmente 2.507 unidades consumidoras, divididas em quatro zonas de distribuição de água tratada.

Será composto de uma única estrutura de captação e produção de água tratada (Estação de tratamento de água – ETA), após a produção a água tratada será encaminhada por adutoras para alimentar os reservatórios elevados dispostos nas quatro zonas de pressão. A figura 6 representa o esquema de funcionamento do SAA.

Figura 6 - Esquema de funcionamento do SAA



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Ressalta-se que todas as informações acerca do SAA foram extraídas do site Portal Compras da Secretaria do Planejamento e Gestão do Governo Estado do Ceará. Os bombeamentos que serão utilizados para o funcionamento do sistema, bem como para o estudo de consumo energético estão descritos na tabela abaixo:

Tabela 1 - Dados dos Conjuntos motobombas que serão utilizados no SAA

Dados dos conjuntos motobombas (CMBs)	Captação	Lavagem de Filtros	ETRG	EEAT 1	EEAT 2	
Potência (CV)	50,0	15,	1,0	10,0	7,50	7,50
Vazão (m ³ /h)	84,489	294,38	12,75	80,466	22,788	34,664
Altura manométrica Total (MCA)	85,49	6,08	4,51	17,63	41,99	32,16
Tempo de funcionamento diário (hora)	21,0	0,5	4,0	21,0	21,0	21,0
Tipo do CMB	Submersa	Centrífuga	Submersa	Submersa	Submersa	Submersa

Fonte: Elaborado pelo autor a partir memorial descritivo do projeto do SAA (2024).

3.2 Métodos e Técnicas

Para a realização deste trabalho foi necessária a realização de pesquisa bibliográfica, de estudo do consumo de energia elétrica estimada necessária para o funcionamento do SAA, do dimensionamento do sistema fotovoltaico para atendimento da demanda, além da estimativa das emissões de CO₂ que poderão ser evitadas em decorrência do uso da energia solar fotovoltaica.

Será necessária a realização do estudo de consumo energético do SAA, para a partir dele dimensionar o sistema fotovoltaico necessário. O consumo energético (ΔE) é realizado através da equação 1:

$$\Delta E = P \cdot \Delta t \quad (1)$$

Em que:

E - Energia, medida em quiloWatt por hora (kW.h);

P - Potência elétrica, medida em quiloWatt (kW);

t - Variação de tempo, medida em horas (h).

Conforme Souza (2022), os sistemas fotovoltaicos são dimensionados de acordo com a carga necessária para atender à demanda de geração de energia, das condições de irradiação solar do local, bem como da eficiência da usina.

O consumo energético diário (C) foi estimado através das características dos CMBs que serão instalados e das horas de funcionamento. A irradiação solar da cidade foi obtida através do site do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB), sendo o valor de Irradiação solar média dada em kWh/m². Dia.

Segundo Nogueira (2016), a eficiência de um sistema (*performance ratio*) estabelece a conexão entre o desempenho real e o desempenho esperado do sistema fotovoltaico, situando-se em torno de 0,75 ou 75%.

A determinação da potência do sistema fotovoltaico (PFV) em kilowatt-pico (kWp) será definida através da equação 2:

$$PFV = \frac{C}{\eta \text{ sistema} \times \text{Irradiação média diária}} \quad (2)$$

Em que:

C - Consumo energético diário (Kw.h/dia);

η sistema – eficiência do sistema fotovoltaico;

Irradiação média diária - Irradiação solar média (kWh/m². Dia).

A determinação do número de placas necessárias para o atendimento da demanda de consumo será calculada através da divisão entre potência do sistema fotovoltaico (PFV) e da potência da placa a ser utilizada, ressalta-se que para esse trabalho serão consideradas a utilização de placas de 550 Wp, conforme a equação 3:

$$N^{\circ} \text{ de placas} = \frac{PFV}{P.Placa} \quad (3)$$

Para a estimativa da redução das emissões de CO₂ na atmosfera proporcionada pelo uso da energia solar, serão utilizados os dados dos Fatores de Emissão de CO₂ pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil - Ano Base 2023, disponibilizados no site do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. O cálculo será realizado através da multiplicação do Fator de Emissão Médio (tCO₂/MWh) pela quantidade de energia fotovoltaica gerada pelo sistema dimensionado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Estudo De Consumo Energético do SAA

O consumo diário total foi estimado através das características dos CMBs que serão instalados para realizar os serviços principais de captação e recalque de água e das horas de funcionamento conforme especificado no memorial descritivo do projeto do SAA. A tabela 2 descreve as características dos CMBs, bem como a estimativa de utilização de energia elétrica diária, mensal e anual.

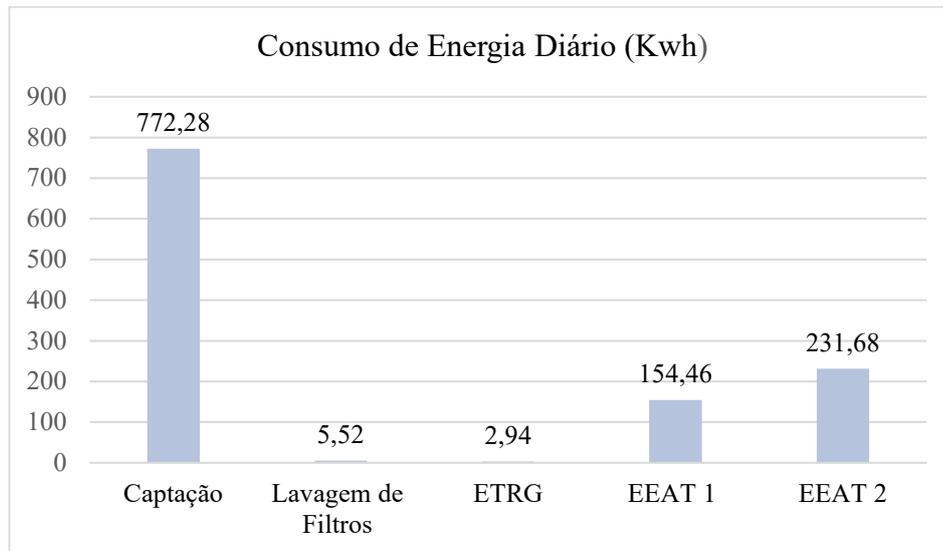
Tabela 2 - Estudo De Consumo Energético do SAA

Dados dos CMBs	Potência (CV)	Tempo de operação (Horas)	Quant. (Unidade)	Consumo de Energia Diário (Kwh)	Consumo de Energia Mensal (Kwh)	Consumo de Energia Anual (Kwh)
Captação	50,0	21,0	1,0	772,28	23.168,40	278.020,80
Lavagem de Filtros	15,0	0,5	1,0	5,52	165,60	1.987,20
ETRG	1,0	4,0	1,0	2,94	88,20	1.058,40
EEAT 1	10,0	21,0	1,0	154,46	4.633,80	55.605,60
EEAT 2	7,5	21,0	2,0	231,68	6.950,40	83.404,80
Total				1.166,88	35.006,40	420.076,80

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Essa estimativa de consumo é para o fim de plano de 20 anos, o ideal para o estudo de consumo real é através das análises do histórico de consumo disponíveis nas contas de luz fornecida pela Concessionária de Energia Elétrica, mas como trata-se de um sistema que ainda está em execução foi realizada essa estimativa.

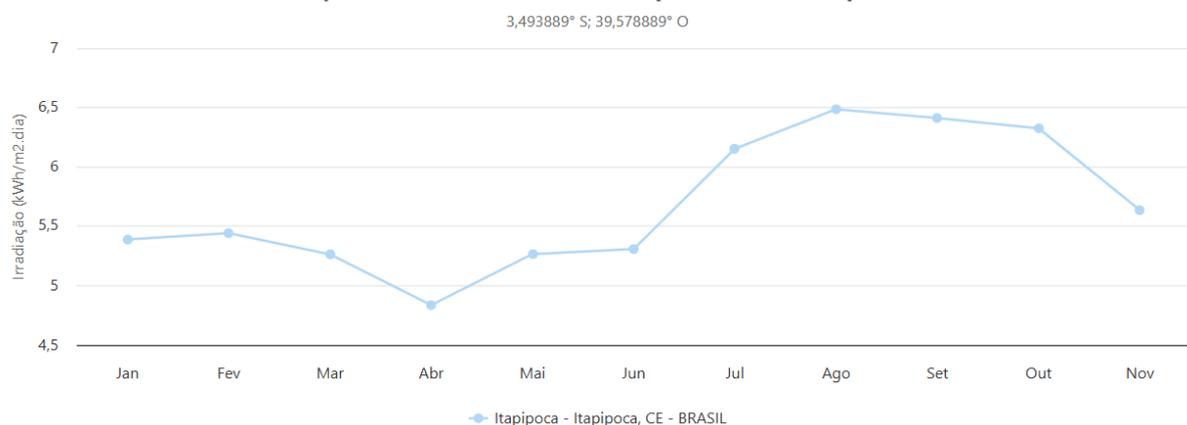
Através do gráfico 3 é possível analisar que a captação é o maior ponto de consumo de energia elétrica, fato este dar-se em virtude de toda a água necessária para o atendimento das famílias usuárias da água será proveniente desse único bombeamento.

Gráfico 3 – Dados do consumo de energia diário por ponto de utilização

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4.2 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

O valor da maior média anual de irradiação solar da cidade de Itapipoca (CE), disponível no site do CRESESB, corresponde a 5,67 kWh/m².dia. O gráfico 4 ilustra as variações dos índices de irradiação solar nesse município entre os meses de janeiro a novembro de 2024.

Gráfico 4 - Índices de irradiação solar em Itapipoca dos meses de janeiro a novembro de 2024

Fonte: CRESESB (2024)

A determinação da PFV em kWp foi realizada utilizando-se o valor maior média anual igual a 5,67 kWh/m², bem com valor de 0,75 para rendimento do sistema fotovoltaico, sendo igual a 274,40 kWp ou 274.400,00 Wp. Através desse resultado determinou-se também

o número de 498 placas de 550 Wp para o atendimento da demanda de consumo do SAA.

4.2 Estimativa da redução das emissões de CO₂ na atmosfera proporcionada pelo uso da energia solar

O Fator de Emissão Médio de CO₂ pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil tendo como base o ano de 2023 é de 0,0467 tCO₂/MWh, como o sistema atenderá os 420.076,80 kWh necessários anualmente para atender o consumo do SAA, podemos concluir que anualmente não serão emitidas 19,62 tCO₂ na atmosfera.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo foi realizado o dimensionamento de um sistema fotovoltaico para um SAA que será implantado em Itapipoca no Ceará, onde através dele serão atendidas 22 comunidades rurais, e através desse dimensionamento estimar a redução das emissões de CO₂ proporcionada pelo uso da energia solar nesse sistema.

Através dos resultados obtidos neste estudo podemos concluir que através da utilização de 498 painéis fotovoltaicos de 550 Wp necessárias para atender a demanda de energia elétrica necessária para o consumo de SAA em estudo, será possível proporcionar uma redução de 19,62 tCO₂ na atmosfera anualmente.

A redução das emissões dos gases de efeito estufas é urgente, e a utilização da energia solar mostra-se por suas inúmeras vantagens aqui já mencionadas como uma alternativa viável e sustentável para mitigar os impactos ambientais e garantir o fornecimento energético de forma eficiente e renovável.

Complementarmente sugere-se que no futuro seja realizado o estudo de viabilidade econômica desse sistema, se seria mais vantajoso implantar um sistema fotovoltaico para atender toda a demanda energética necessária para o sistema ou para atender apenas a captação que é o ponto de maior consumo de energia elétrica. Caso implantado poderia ser realizado também o estudo de impacto social do sistema nas comunidades beneficiadas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO DOS AUDITORES FISCAIS DA ADMINISTRAÇÃO FAZENDÁRIA DO ESTADO DO CEARÁ - AUDITECE. **Sistema de Compensação de Energia Elétrica.**

Fortaleza, 2022. Disponível em:

<https://www.auditece.org.br/sites/default/files/news/files/Cartilha%20Energia%20Solar%20-%20VIRTUAL%20-%20AUDITECE%20.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2024.

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); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/114300.htm. Acesso em: 01 dez. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Programa Nacional de Saneamento Rural.** Brasília: Funasa, 2019. Disponível em:

<https://www.funasa.gov.br/biblioteca-eletronica/publicacoes/engenharia-de-saude-publica/-/asset_publisher/ZM23z1KP6s6q/content/programa-nacional-de-saneamento-rural-pnsr-?inheritRedirect=false>. Acesso em: 28 dez. 2024.

CASTRO, César Nunes de; CEREZINI, Monise Terra. **SANEAMENTO RURAL NO BRASIL: A UNIVERSALIZAÇÃO É POSSÍVEL?** IPEA. Texto para Discussão, No. 2875. 2023. Disponível em:

[/https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11979/1/TD_2875_web.pdf](https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11979/1/TD_2875_web.pdf). Acesso em: 10 dez. 2024.

CORTEZ, Helder. **Modelo de Gestão SISAR Ceará.** Rio de Janeiro, RJ, 2015. Disponível em: <https://abes-es.org.br/wp-content/uploads/2016/09/Apresentacao-modelo-de-gestao-sisar-ceara-outubro-2015.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2024.

COSTA, Mariell Lima; JUNIOR, Juscelino Martins Costa; VORPAGEL, Jefferson dos Santos; ZONIN, Wilson João. Avaliação da qualidade da água para abastecimento humano do Assentamento 10 de abril, Crato (CE) e Sistema Integrado de Saneamento Rural da Bacia do Salgado. **Rev. Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. 317-340, 2021. DOI: 10.19177/rgsa.v10e32021317-340. Disponível em:

https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/8932. Acesso em: 16 nov. 2024.

DANTAS, Stefano Giacomazzi; POMPERMAYER, Fabiano Mezadre. Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico. IPEA. **Texto para Discussão, No. 2388.** 2018. Disponível em:

<https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/8400?mode=full>. Acesso em: 10 nov. 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS - DNOCS. **Vem Conhecer os poços artesianos que com energia solar mudam a realidade do semiárido.** [S.I.], 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/dnocs/pt-br/assuntos/vem-conhecer/vem-conhecer-os-pocos-artesianos-que-com-energia-solar-mudam-a-realidade-do-semiarido>.

Acesso em: 28 dez. 2024.

EPE. **Balço Energético Nacional (BEN) Relatório Síntese 2024: Ano base 2023.**

Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/balanco-energetico-nacional/ben-2024/relatorio-sintese/ben_sintese_2024_pt.pdf/view. Acesso em: 16 nov. 2024.

EPE. **Matriz Energética e Elétrica.** Disponível em:

<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 10 nov. 2024.

FREY, Klaus; TORRES, Pedro Henrique Campello; JACOBI, Pedro Roberto; RAMOS, Ruth Ferreira (coord.). **Objetivos do desenvolvimento sustentável: desafios para o planejamento e a governança ambiental na Macrometrópole Paulista.** Santo André, SP: EdUFABC, 2020. Disponível em: <https://editora.ufabc.edu.br/ciencias-sociais/72-objetivos-do-desenvolvimento-sustentavel>. Acesso em: 12 nov. 2024.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ – IPECE. **Perfil municipal 2017.** Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Itapipoca_2017.pdf. Acesso em: 15 dez. 2024.

LIMA, Marcondes Ribeiro. **Modelo de Gestão Sisar** - Confederação Sistema Integrado de Saneamento Rural - Sisar. Prêmio ODS Brasil 2018. Disponível em: <http://www.sisar.org.br/wp-content/uploads/BibliotecaSisar/Artigos/SFL-Modelo-de-Gest%C3%A3o-SISAR-final.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2024.

MOREIRA, Carlos Alberto Machado; SERAPHIM, Odivaldo José; GABRIEL FILHO, Luís Roberto Almeida. Sistema fotovoltaico monocristalino para bombeamento de água. **Revista Energia na Agricultura**, Bocutatu, v. 27, n. 3, p. 31-47, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/422e2218-e906-4983-8b44-7e077d8c146f/content>. Acesso em: 15 nov. 2024.

NOGUEIRA, Paula Comarella. **Estudo de viabilidade econômica da instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica de energia do Rio de Janeiro: um estudo de caso.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2016. Disponível em: <https://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10017756.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2024.

PEREIRA, Filipe Alexandre de Sousa; OLIVEIRA, Manuel Ângelo Sarmento. **Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica.** Porto: Publindústria, 2015. Disponível em <https://pdfcoffee.com/qdownload/curso-tecnico-instalador-de-energia-solar-fotovoltaica-2a-ed-pdf-free.html>. Acesso em: 29 dez. 2024.

RABELO, Francisco Carleudo Saraiva; MORAES, Albemerc Moura de; LIRA, Marcos Antônio Tavares; SILVA, Emerson Mariano da. Estudo Socioambiental do Projeto de Abastecimento de Água com Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede na Comunidade Sítio Volta, Jaguaruana, Semiárido Cearense. **Revista Brasileira de Energia Solar**, [S. l.], v. XIV, n. 1, p. 63-71, 2023. Acesso em: 16 nov. 2024.

REVISTA CAGECE. Fortaleza: Publicação da Companhia de Água e Esgoto do Ceará. 2016. julho, agosto e setembro. 2ª edição. Versão online. Disponível em:

<https://www.cagece.com.br/comunicacao/revista-cagece/revista-cagece-2-edicao/>. Acesso em: 30 dez. 2024.

REVISTA CAGECE. Fortaleza: Publicação da Companhia de Água e Esgoto do Ceará. 2020. janeiro, fevereiro e março. 10ª edição. Versão online. Disponível em: <https://www.cagece.com.br/revista-cagece-12a-edicao/>. Acesso em: 30 dez. 2024.

ROCHA, Wilson Dos Santos. Estudo de caso do modelo de gestão de água potável e saneamento rural denominado “Sistema Integrado de Saneamento Rural” (SISAR) no Brasil -- (Nota técnica do BID; 589). Banco Interamericano de Desenvolvimento. Divisão de Água e Saneamento. II. Título. III. Série. IDB-TN-589. 2013. Acesso em: 20 dez. 2024.

SÃO JOSÉ IV. Manual de Operações – MOP. **Projeto de Desenvolvimento Rural Sustentável** – PDRS. 2020. Disponível em: <https://www.sda.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/60/2019/01/MOP-versao-final.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2024.

SIMIONI, Tássio. **O impacto da temperatura para o aproveitamento do potencial solar fotovoltaico do Brasil**. 2017. 222 f. Dissertação (Mestrado). Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-braz-cubas/estudos-da-administracao-publica/tassio-simioni-rgre/34781243>. Acesso em: 10 nov. 2024.

SOUZA, Estevão Modolo de. **Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico on grid de 5 kW para a Localidade de São Mateus - ES**. 2022. 50 f. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Sistemas Fotovoltaicos Isolados e Conectados à Rede Elétrica) - Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2022. Disponível em: <https://gesep.ufv.br/wp-content/uploads/2022/12/Estevao.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2024.

TCE/MS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <https://www.tce.ms.gov.br/portal-modernizacao/assets/downloads/cartilha-ods/cartilha-ods-15-09-18.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2024.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno (coord.). **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio de Janeiro: EPE, 2016. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-172/Energia%20Renovável%20-%20Online%2016maio2016.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2024.

VIAN, Ângelo. et al. **ENERGIA SOLAR: fundamentos, tecnologia e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2021. Disponível em: <https://pdf.blucher.com.br/openaccess/9786555500592/completo.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2024.