

Projecto de uma central de energia solar fotovoltaica para iluminação pública, na centralidade da Praia Amélia em Moçâmedes, Angola

Project for a photovoltaic Solar Power plant for Public Lighting in the Centrality of Praia Amélia in Moçâmedes, Angola

Abel Utalica

Universidad Europea del Atlántico (utalicaabelbel@gmail.com) (<https://orcid.org/0009-0003-1814-5240>)

Información del manuscrito:

Recibido/Received: 00/00/00

Revisado/Reviewed: 00/00/00

Aceptado/Accepted: 00/00/00

RESUMEN

Palavras chave:

Energias renováveis; Energia solar fotovoltaica; Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos; Iluminação pública; Angola.

Esta investigação apresenta, na introdução, objetivo geral, que consiste em desenvolver uma central fotovoltaica para iluminação pública, na centralidade da Praia Amélia, e específicos, que consistem em descrever e dimensionar componentes da central. A metodologia baseia-se no modelo misto (quali-quantitativo). Por meio da pesquisa bibliográfica, entrevista e medição direta, obtiveram-se fundamentos teóricos, dados elétricos e técnicos da centralidade. Assim, com a latitude e longitude, através do PVGIS, obtiveram-se irradiações mensais direta, globais e temperaturas médias. Dos resultados, Moçâmedes apresenta condições adequadas para objetivos fotovoltaicos. Do dimensionamento e com módulos inclinados à 15°, obteve-se no mês crítico, radiação global mensal de 179 KWh/m² e diária de 5,78 KWh/m². Com demanda de 116250W, o sistema utiliza 664 módulos de 400W, 3 controladores de 200W, 48 baterias e inversor de 145313W. Assim, o sistema não prevê perdas por sombreamento e poeira, porém apresenta perdas de 1,56% devido à temperatura e 7309W no cabeamento. Dessa forma, o sistema demonstra viabilidade econômica ao apresentar um Valor Presente Líquido (VPL) positivo, com amortização prevista para ocorrer em 11 anos. Da discussão, em relação a projetos fotovoltaicos similares de Cabo Verde e Moçambique, este projeto demonstra-se mais ambicioso e com maior impacto socioeconômico e ambiental, por possuir carga maior e, no seu dimensionamento, reduzir a potência nas centrais térmicas de 63MW locais, em 0,44%. Este dado impacta positivamente a redução de emissões de GEE. Portanto, a central apresenta valor técnico, ao acautelar as perdas totais de 11339W (28 módulos), em um sistema com margem superior de 61 módulos.

ABSTRACT

Keywords:

Renewable energies; Solar photovoltaic energy; Photovoltaic system sizing; Public lighting; Angola

This research presents, in the introduction, a general objective, which is to develop a photovoltaic power plant for public lighting in the Praia Amélia housing project, and specific objectives, which consist of describing and sizing the components of the plant. The methodology is based on a mixed model (qualitative-quantitative). Through bibliographic research, interviews, and direct measurements, theoretical foundations, as well as electrical and technical data of the housing project, were obtained. Thus, using latitude and longitude, monthly direct and global irradiation values and average temperatures were obtained through PVGIS. The results show that Moçâmedes presents suitable

conditions for photovoltaic objectives. From the system sizing, with modules tilted at 15° , the critical month yielded a monthly global irradiation of 179 kWh/m^2 and a daily value of 5.78 kWh/m^2 . With a demand of $116,250 \text{ W}$, the system uses 664 modules of 400 W , 3 controllers of 200 W , 48 batteries, and an inverter of $145,313 \text{ W}$. The system does not account for losses due to shading or dust but does consider 1.56% losses due to temperature and $7,309 \text{ W}$ losses in cabling. Therefore, the system demonstrates economic feasibility by presenting a positive Net Present Value (NPV), with payback expected within 11 years. In the discussion, compared to similar photovoltaic projects in Cape Verde and Mozambique, this project proves to be more ambitious and to have greater socioeconomic and environmental impact, due to its higher load and its potential to reduce power demand on the local 63 MW thermal plants by 0.44% . This contributes positively to the reduction of greenhouse gas emissions (GHG). Thus, the plant shows technical value by accounting for total losses of $11,339 \text{ W}$ (equivalent to 28 modules) in a system with a surplus margin of 61 modules.

Introdução

As energias renováveis estão presentes desde a antiguidade. A busca de melhores condições de vida e a descoberta de novas formas de melhor acomodação mudaram a perspectiva da visão do homem, colocando no último plano as fontes limpas em detrimento das emissoras. Este fato, proporcionou mudanças importantes na natureza e causou impactos que levaram os governos a redirecionarem as periodicidades energéticas para fontes renováveis (Pinho & Galdinho, 2014).

Na verdade, este repensar deve-se às alterações nos níveis das emissões de gases de efeito estufa, que, segundo IPCC (2007, citado por Uczai & Tavares, 2012), aumentaram em 70% entre 1970 e 2004. Embora este aumento não resulte simplesmente dos combustíveis fósseis, considera-se o principal impulsionador. Neste contexto, qualquer perspectiva de mudança deve se basear em políticas para promoção de pesquisa, desenvolvimento e implementação de fontes renováveis.

A abordagem energética de Angola está progredindo substancialmente ao adotar o conceito de descarbonização no domínio energético. Conforme Losekann e Botelho (2019), a transição para uma economia de baixo carbono é uma noção que se adapta de maneira mais apropriada para direcionar as políticas energéticas, visando assegurar a estabilidade ambiental e a mitigação das mudanças climáticas. Prova disso, de 2016 a 2021, Angola aumentou cerca de 14% de produção energética a partir das energias renováveis e supre 61% de toda carga energética do país (IRENA, 2024).

A iluminação pública é um fator essencial para o bem-estar das populações. Desta feita, prover uma central a partir de fonte limpa pode solucionar diversos problemas que a centralidade tem enfrentado, como a insegurança pública, a criminalidade e/ou vandalismo, a visibilidade inadequada nas ruas e o impedimento do acesso noturno aos locais de lazer (Leite & Alves, 2023, p. 8228-8236). Assim, com a intenção de satisfazer os anseios da comunidade nos níveis socioeconômico e ambiental, faz-se necessário o presente projeto.

O projeto desta central fotovoltaica tem impacto positivo no desenvolvimento técnico e teórico da energia fotovoltaica, uma vez que constitui uma das energias mais aproveitada. Neste contexto, uma central constitui uma inovação, por possuir diversas aplicações práticas, técnicas, socioeconômicas e ambientais, além de concorrer para aplicabilidade da transição energética que se impõe hoje (Grijó, 2014, p.28-28)

Estas aplicabilidades no seu todo, visam, a geração de emprego, a redução das emissões poluentes, a diversificação da matriz energética em Angola e, sobretudo, visam incentivar os investimentos nesta fonte, já que o município de Moçâmedes apresenta potencial solar elevado, (ALER, 2022). Contudo, com este projeto, não só o problema relacionado à iluminação sazonal noturna se viria resolvido, como forneceria um aparato teórico com bases para reflexões mais científicas e com uma metodologia científica.

A solução do problema de iluminação pública pela manutenção corretiva, não tem sido eficaz uma vez que Tsshara (2024) ressalta que a falta de energia transporta diversos problemas, como por um lado, as questões de burocracias para se resolver o problema e, por outro, o constrangimento de corte parcial de energia no período de manutenção, que tem sido em horas de produtividade.

A presente investigação justifica-se pela necessidade de concorrer para a aplicabilidade de ações energéticas para a proteção ambiental, visadas nos acordos internacionais que Angola tem ratificado. Com efeito, o presente artigo possibilita o aproveitamento da energia fotovoltaica para iluminação pública.

Por isso, constitui um projeto de aplicação prática, ao analisar e descrever as literaturas atuais sobre a energia fotovoltaica, assentada ao alcance do objetivo geral que consiste em desenvolver um projeto de central de energia solar fotovoltaica para iluminação pública e específicos que consistem em descrever os principais componentes de centrais fotovoltaicas e dimensioná-la.

Assim, ao longo das abordagem encontram-se apresentada de forma abreviada os seguintes conceitos:

- IESS- Ideal Estudos e Soluções Solares
- IRENA- International Renewable Energy Agency
- IRSEA- Instituto Regulador dos Serviços de Electricidade e de Água
- PRODEL- Empresa Pública de Produção de Electricidade
- ALER- Associação Lusófona de Energias Renováveis
- PVGIS- Photovoltaic Geographical Information System

Contexto teórico sobre energia solar fotovoltaica

(i) Energia Solar fotovoltaica e a sua caracterização em Angola

A energia solar é uma energia renovável proveniente da luz e do calor do sol. No seu aproveitamento, são utilizados módulos solares, que quando posicionadas em direção ao sol,

produzem uma energia inesgotável... (Soares & Santos, 2020). Os sistemas fotovoltaicos podem ser isolados (offgrid) e ligados à rede (ongrid).

Angola apresenta um potencial solar avaliado em 55GW, bastante próximo da África do Sul e Califórnia (ALER, 2022, p. 134). Deste potencial, mais de 405GWh (2%) são fornecidos à rede elétrica desde 2022, aproximadamente 10% em relação às energias renováveis. Contudo, o país pretende alcançar 1GW, até 2027 no seu Plano de Ação de 2017 (IRENA, 2024).

(ii) Incidência da radiação solar sobre a terra e radiação incidente sobre os módulos

A radiação que o sol emite da sua coroa, proveniente da sua temperatura, é enorme. Este fluxo, quando medido na proximidade da atmosfera terrestre, vale $1367\text{W}/\text{m}^2$, valor que constitui a constante solar. Este valor, em relação ao raio da terra, pode proporcionar uma potência total de 174mil TW. Deste valor, cerca de 46% são absorvidos ou refletidos pela atmosfera, e, dos restantes 54%, 7% são refletidos e 47% são absorvidas, dispondo de uma potência total na superfície terrestre 94mil TW. A radiação solar pode ser Radiação devido albedo, Radiação Global e Radiação Total. (Pinho & Galdinho, 2014). Já para Pereira (2022) pode apresentar-se como Radiação Direta, Radiação Difusa, Radiação Refletida.

Em função das variadas perdas de potência do fluxo na atmosfera terrestre, decorrentes das dificuldades, das radiações de albedo, difusa, direta e das condições atmosféricas, a radiação incidente na superfície terrestre faz-se $1000\text{W}/\text{m}^2$. Esta radiação torna-se o valor padrão usado no dimensionamento de sistemas fotovoltaicos (Ovelha, 2017).

(iii) Principais componentes de uma central fotovoltaica

O aproveitamento da energia solar fotovoltaica vem crescendo. Por isso, definem-se projetos com dimensão e característica da central fotovoltaica, que segundo Madeira (2022, p. 44), “são sistemas de produção de energia de grande porte, constituído por componentes como módulos, inversores, baterias, controladores, transformadores de tensão, cabos e dispositivos de proteção e controle.

- **Módulo fotovoltaico:** é um componente constituído por um conjunto de células solares interligadas, responsáveis por converter a energia solar em eletricidade... (Mariano & Urbanetz, 2022). Sendo assim, para atingir cargas elevadas, a ligação das células nos módulos deve ser em série para elevar a tensão e em paralelo para elevar a corrente. Os módulos fotovoltaicos possuem uma garantia de 25 anos ou mais fazendo com que sejam fabricados para serem resistentes às adversas condições climáticas (Madeira, 2022).

Os módulos fotovoltaicos produzem eletricidade em corrente contínua (CC). Assim, em função da tecnologia utilizada e do arranjo das células, o módulo fotovoltaico possui parâmetros elétricos, térmicos e características específicas (Granja, 2017). Estes parâmetros

e características podem apresentar-se como as correntes de curto-circuito (I_{sc}) e de máxima potência (I_{mp}), as tensões de circuito aberto (V_{oc}) e de máxima potência (V_{mp}) e o ponto de máxima potência (MPP), (IESS, 2019).

As tecnologias dos módulos fotovoltaicos podem ser caracterizadas, segundo Granja (2017); (Mariano & Urbanetz, 2022) e Azambuja (2022) como: tecnologia de células de Silício Monocristalino, com eficiência de 14%, 17%, 20% ou mais; tecnologia de células de Silício Policristalino, com eficiência de 13 e 15%; Células de película de filmes fino, com 6 a 11% e Células de Multijunção a-Si/ μ c-Si, com 8, 9% ou 35% quando composta com outros elementos.

Neste contexto, para a escolha de uma tecnologia, Mariano e Urbanetz (2022) enfatizam que se deve considerar características e fatores dependentes do projeto. Dentre eles, a eficiência, os aspectos arquitetônicos e a área disponível.

- **Inversores fotovoltaicos:** são dispositivos constituídos por sistemas de controle de corrente, de detecção de ilhamento, de sincronismo e de MPPT (Maximum Power Point Tracking). Estes dispositivos têm como função a conversão da corrente contínua produzida pelos módulos em corrente alternada, ... (Azambuja, 2022).

Os inversores, conforme Nogueira (2023, citado por Barreto, 2024), podem ser Inversores centrais (fileira) e Inversores modulares (microinversores). Desta feita, para Granja (2017) os seus parâmetros são o rendimento, potência nominal e potência máxima em corrente contínua (DC), potência nominal e máxima potência em corrente alternada (AC), fator de potência, potência de ligação e desligação, potência em stand-by e modo noturno, tensão nominal DC e AC, intervalo de tensão MPP (Ponto de Máxima Potência), tensão máxima DC, tensão de desligamento, corrente nominal e máxima (DC), taxa de distorção harmônica, nível de ruído e intervalo de temperatura.

- **Baterias Fotovoltaicas:** a produção de energia nos sistemas fotovoltaicos não é contínua, por isso, há necessidade de armazenar energia em baterias, já que os módulos apenas produzem energia durante o dia. Esta função, releva a grande importância nos sistemas fotovoltaico. Os seus parâmetros são a capacidade da bateria, corrente máxima de carga e descarga, tensão de carga e descarga, profundidade de descarga e vida útil (Pinho & Galdinho, 2014, p.163-175).

Para determinadas necessidades de tensão ou corrente as baterias conectam-se em série e/ou paralelo. As baterias a utilizar devem, segundo Fadiga (2004), atender aos ciclos rasos a cada dia e ciclos profundos por vários dias ou semanas, apresentar elevada vida cíclica para descargas profundas; pouca manutenção; elevada eficiência de carregamento; capacidade de permanecer descarregada; baixa autodescarga; mínima mudança de

desempenho, ao trabalhar fora da temperatura de operação; disponibilidade dos fornecedores e custo considerável e densidade de energia.

- **Controladores de cargas:** são equipamentos que controlam o fluxo de potência entre o sistema de geração e o sistema de armazenamento. Esses dispositivos protegem a bateria contra sobrecargas e descargas, impedem que ela continue carregando ao atingir seu limite de carga e fique abaixo do limite recomendado, a partir do monitoramento da tensão em seus terminais (Oliveira, 2023).

Desta forma, IESS (2019) ressalta que os controladores controlam os valores da tensão, protegem contra a inversão de polaridade, curto-circuito.... Eles classificam-se em controladores Paralelo ou Shunt que evitam correntes inversas e série, que interrompe o fornecimento às cargas extremas quando a bateria atinge o limiar de profundidade de descarga e MPP que baixa a tensão do gerador devido à diminuição da incidência solar, inviabilizando a produção de energia Granja (2017).

Já na visão de Mariano e Urbanetz (2022) e Oliveira (2023), classificam como controladores On/Off que abre e fecha, quando a tensão do conjunto de baterias chega a valores pré-determinados; controladores PWM (Modulação por Largura de Pulso) que controla a tensão, através do controle de modulação por largura de pulso e Controladores MPPT que rastreiam o ponto de máxima potência dos módulos.

- **Dispositivos de proteção:** os sistemas fotovoltaicos são alvos de danos devido a incidência solar. Neste contexto, para sua proteção são necessários fusíveis, disjuntores, dispositivos de proteção contra surtos (DPS), sistemas de aterramento e sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) (Mariano & Urbanetz, 2022).

- **Transformadores:** os transformadores de tensão têm o papel de elevar ou abaixar a tensão fornecida pelos inversores a valores adequados para a distribuição, trabalhando conforme a necessidade de carga (POOR et al., 2012, citado por Barreto, 2024).

- **Cabeamentos em sistemas fotovoltaicos:** a energia produzida pelos módulos é transportada pelos condutores, que devem ser considerados com condições que atendam as especificações das instalações fotovoltaicas. Os condutores em sistemas fotovoltaicos são classificados por cabo de ligações em CC e CA (Pereira, 2021). Desta feita, em função das condições solar extremas, tensões elevadas e fatores climáticos, os condutores devem possuir características como a tensão máxima de operação, temperatura em trabalho, resistência à radiação ultravioleta (UV) e à água (Moreno, 2019).

Método

A presente investigação objetiva desenvolver uma central fotovoltaica na Centralidade da Praia Amélia cita no município de Moçâmedes, Namibe, Angola. A centralidade apresenta condições de insidência solar aproveitável para solucionar o problema de iluminação pública.

Desta feita, a caracterização elétrica, mostra que ela é alimentada pela Central Térmica, que transporta até os postos de transformação, baixa tensão na ordem de 15000V, baixada em níveis de tensão na ordem de 380V num sistema trifásico. A caracterização econômica, mostra que ela depende de serviços externos, não consta no seu funcionamento atual, qualquer sustentabilidade econômica local, porém espaços próprios tendem a possibilitar aos empresários aberturas de empreendimentos. A centralidade possui 465 postes de iluminação distribuídos ao longo das vias principais, verificada nos arquivos e confirmada pelo critério de contagem direta. Estes postes têm 12 metros de altura, com lâmpadas de vapor Sódio com potência de 250W, que fornecem iluminação de cor alaranjada com alcance de 15 metros de raio durante 12 horas. Os postes distam um do outro em 25 metros.

A metodologia tem sua abordagem no modelo misto, isto é, quali-quantitativo que orienta o estudo nas questões tenentes ao alcance do objetivo da investigação, (Morais & Neves, 2007, p. 1-2). Assim, para coleta dos fundamentos teóricos recorreu-se à revisão bibliográfica de livros disponíveis na internet, na biblioteca e laboratório de Energias renováveis do Instituto politécnico Pascoal Luvualu de Moçâmedes.

Para obtenção da quantidade de postes de iluminação, distâncias entre os postes, raio de alcance de iluminação, cor da iluminação, medição das alturas dos postes, recorreu à observação participante e medição direta.

Para obtenção dos dados técnicos e elétricos da centralidade, recorreu-se à consulta nos arquivos físicos disponíveis na administração local e à entrevista de 15 minutos a dois (2) técnicos da administração local sobre os primeiros dois pontos do guia abaixo e 10 minutos a dois (2) engenheiros elétricos sobre os dois últimos pontos no guia abaixo.

- Dados sobre a dimensão da centralidade;
- Dados sobre o total de residências e sua tipologia;
- Dados sobre a fonte da geração de energia para centralidade e;
- Dados sobre a configuração de eletrificação local.

O dimensionamento do sistema de geração fotovoltaica para iluminação pública, foi feito mediante os parâmetros da latitude, $-15^{\circ}11'45''$ e a longitude $012^{\circ}09'07''$, que com o suporte do site da European Commission PVGIS (2024) que forneceu dados específicos da

irradiação mensal direta, globais e temperaturas médias do local nos dias 12, 13 e 14 de Novembro 2024.

Assim por meio das equações 1 à 11, foram dimensionados mediante cálculos, os componentes do sistema fotovoltaico.

Equação 1

Cálculo do número de módulo a instalação (Azambuja, 2022, p. 21)

$$N_p = \frac{E_t}{HSP * P_{max}}$$

N_p : Número de módulos

HSP : Hora de sol pico

E_t : Energia demandada

P_{max} : Potência do módulo

Equação 2

Cálculo da potência total do sistema (Sousa & Franco, 2018, p.54)

$$P_t = N_p * P_{max}$$

P_t : Potência total a instalar

N_p : Nº de módulo

P_{max} : Potência do módulo

Equação 3

Cálculo da energia total do sistema (Pinho & Galdinho, 2014, p. 328)

$$E_{GS} = P_t * HSP$$

E_{GS} : Energia total gerada

P_t : Potência total a instalar

HSP : Hora de sol pico

Equação 4

Cálculo no número de bateria em paralelo (Pinho & Galdinho, 2014, p. 313).

$$N_{bp} = \frac{C_{ts}}{C_{bat}}$$

N_{bp} : Número de bateria em paralelo

C_{ts} : Capacidade do sistema

C_{bat} : Capacidade da bateria

Equação 5

Cálculo no número de bateria em série (Pinho & Galdinho, 2014, p. 313)

$$N_{bs} = \frac{V_s}{V_b}$$

N_{bs} : Número em série

V_s : Tensão do sistema

V_b : Tensão da bateria

Equação 6

Cálculo da quantidade total de bateria da instalação (Pinho & Galdinho, 2014, p. 313).

$$N_{Total} = N_{bs} * N_{bp}$$

Equação 7

Cálculo da especificação da seção do condutor (Wate, 2023, p. 68)

$$S = \frac{0,036 * I * L}{V_t * C_t}$$

S: seção do condutor.

I: a corrente elétrica.

L: o comprimento do condutor.

V_t : Tensão do sistema.

C_t : queda de tensão, correspondente a 1%.

Os sistemas fotovoltaicos estão sujeitos a perdas, associadas à orientação e inclinação dos módulos, ao sombreamento, ao acúmulo de poeira, por cabeamentos e às perdas do módulo por temperatura (Silva, et al., 2018, p. 14; Tonolo, 2019, p. 36). Relativamente as perdas devido à temperatura e condutores, determinam-se mediante as equações 8 e 9.

Equação 8

Cálculo da perda de potência no módulo por temperatura (Teixeira & Silva, 2021, p.10).

$$P_{MPT} = (1 - (T_m - 25^\circ\text{C}) * \%P_m)$$

P_{MPT} : Potência do módulo por perda de temperatura

T_m : temperatura média local

P_m : coeficiente de potência do módulo

25°C : Temperatura padrão de teste dos módulos

Equação 9

Cálculo da perda de potência nos condutores (Macita, 2022 p. 30)

$$P_M = \frac{2 * N * L * I^2}{S * K}$$

P_M : Perdas de potência no condutores

N: Número de fileira

S: Seção do cabo

K: condutividade do material

L: Comprimento

I: Corrente elétrica

A avaliação econômica do projeto é feita mediante as equações 10 e 11.

Equação 10

Cálculo do Valor Presente Líquido (Sousa & Franco, 2018, p.44).

$$VLP = -I_0 + \sum_{n=1}^{n=N} \frac{F_{ci}}{(1+i)^n}$$

VLP: valor presente líquido.

I₀: investimento.

n: período analisado.

F_{ci}: Fluxo de caixa no período.

Equação 11

Cálculo do tempo de amortização do investimento (Sousa & Franco, 2018, p.44).

$$\text{Payback}_{\text{simples}} = \frac{I_0}{F_{ci}}$$

Payback: tempo de amortização do investimento.

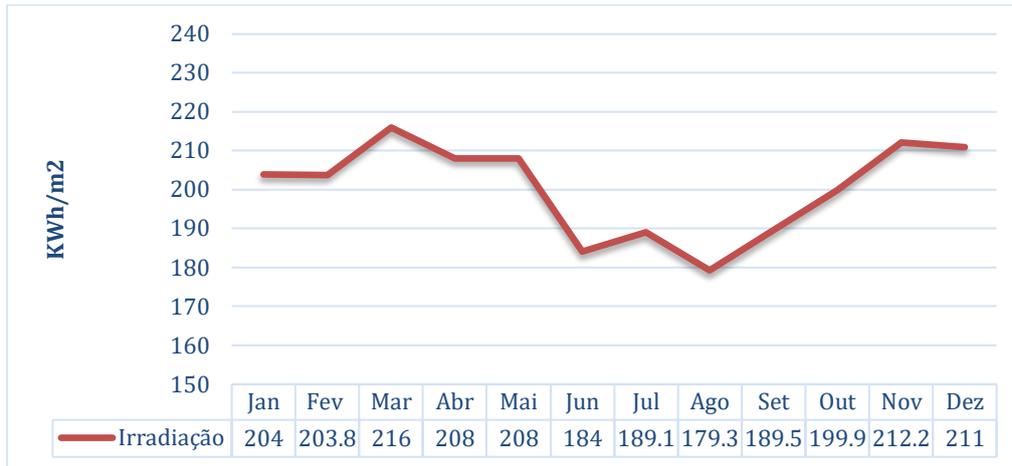
Resultados

Em função da entrevista realizada mediante os pontos do guia, constatou-se que a centralidade situa-se a pouco menos de 5 km do casco urbano, ocupa área aproximada de 1827km². Possui 2000 focos habitacionais, distribuídos nos 11 blocos, com vivendas e apartamentos na tipologia T3, possui hospital, campos polidesportivos, locais de lazer, complexo escolar, jardim de infância e Faculdade de Engenharia e Tecnologia.

As informações das irradiações mensais globais, normal direta e temperaturas médias para dimensionamento, obtidas pelo site European Commission PVGIS (2024), são apresentadas nas figuras 1, 2,3 e 4.

Figura 1

Irradiação global mensal no ângulo igual a latitude

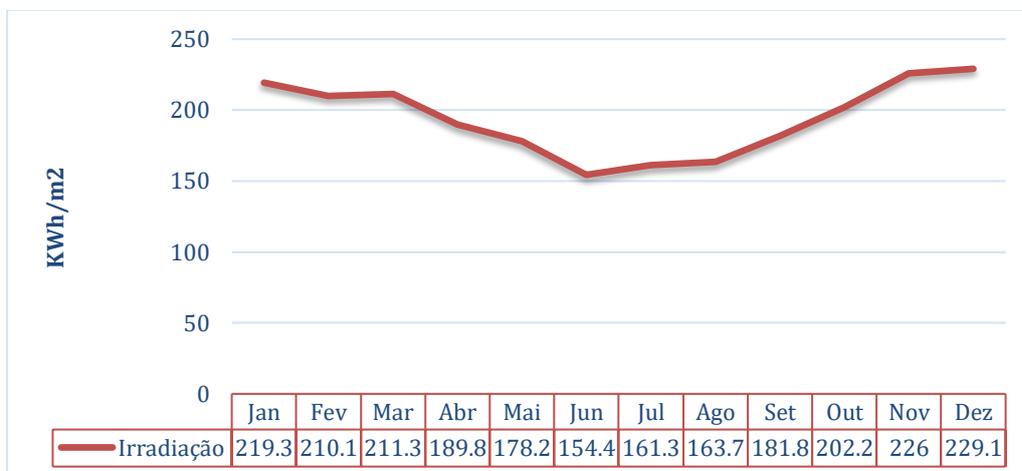


Nota. Irradiação mensal em ângulo igual 15°, elaborado com base nos dados de European Commission PVGIS (2024).

Conforme a figura 1, a irradiação global mensal com módulos inclinados a 15° fornece irradiações com máximo de 216 kWh/m² em março e mínimo de 179 kWh/m² em agosto. Esta, mostra uma elevação de janeiro a março, uma queda de abril a maio, um baixar em junho, uma elevação em julho e depois de uma queda em agosto, crescendo até novembro, para uma queda ligeira em dezembro. Assim, verifica-se que agosto é o mês crítico. Dividindo sua radiação mensal pelos dias do mês, obtém-se a média diária de 5,78 kWh/m²/dia, usado para o dimensionamento.

Figura 2

Irradiação global horizontal no ângulo ótimo.

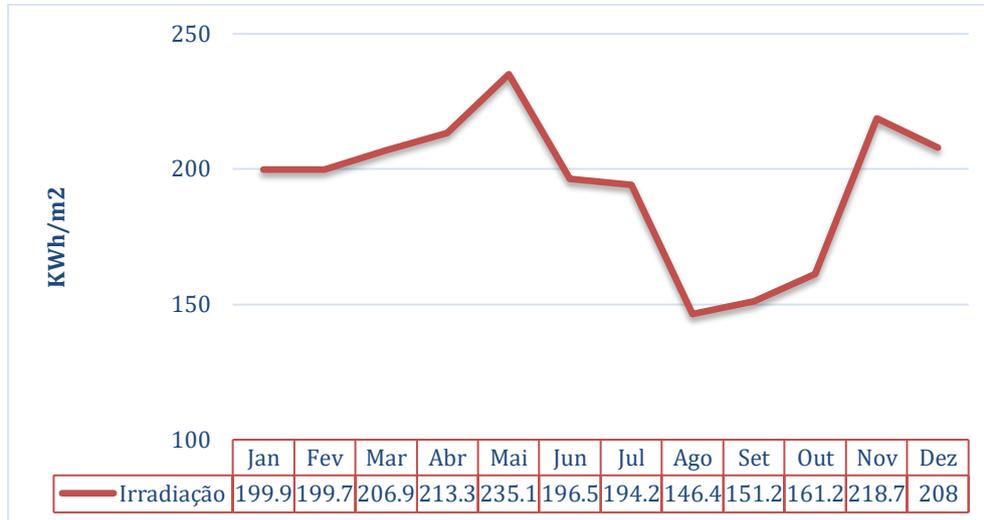


Nota. Esta mostra-se Irradiação mensal em ângulo ótimo, elaborado com dados European Commission PVGIS (2024).

Na figura 2, é possível verificar uma máxima de 229 kWh/m² em janeiro e uma mínima de 154 kWh/m² em junho. Ainda mostra um comportamento geral de irradiação decrescente de janeiro a junho e um aumento de julho a dezembro.

Figura 3

Irradiação normal direta

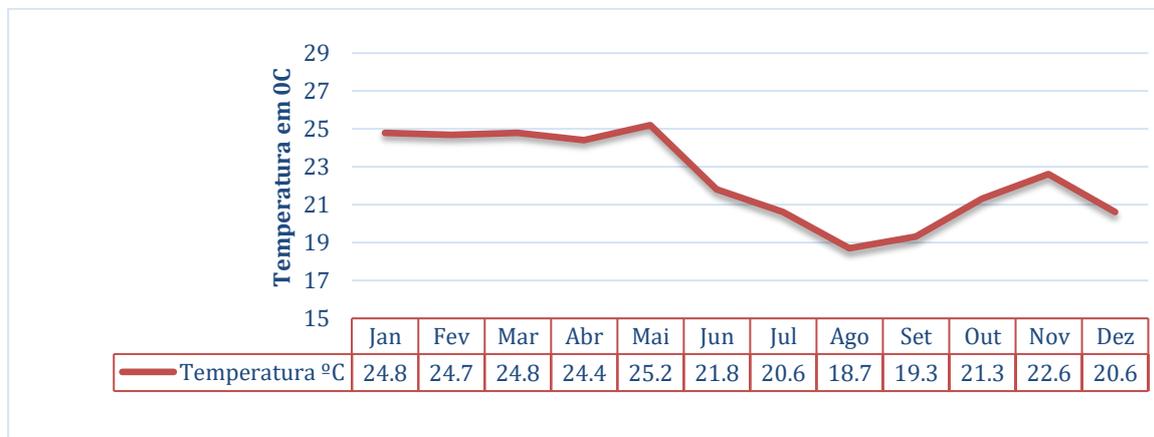


Nota. Esta figura mostra a Irradiação mensal direta, elaborado com os dados European Commission PVGIS (2024).

Na figura 3 verifica-se o máximo de 235 kWh/m² em maio, a mínima de 146 kWh/m² em agosto. O comportamento geral é de igualdade de janeiro a fevereiro, elevação de fevereiro a maio, baixa de junho a agosto, alta de setembro a novembro e uma baixa em dezembro.

Figura 4

Varição da temperatura em Moçâmedes



Nota. Esta figura mostra a temperatura diária em elaborado a partir da European Commission PVGIS (2024).

A Figura 4 mostra a temperatura com máxima de 25,2°C em maio e mínima de 18,7°C em agosto. Nesta, observa-se um crescimento de janeiro a abril, uma alta em maio, seguida de uma baixa de junho a agosto, uma alta em setembro a novembro, seguida de uma baixa em dezembro.

Destes parâmetros da irradiação incidente e temperaturas médias no local, pelo site da European Commission PVGIS (2024), que dispõe irradiações direta, global e a temperatura média de Moçâmedes para dimensionamento da central fotovoltaica, foi feita as seguintes analogias das irradiações e temperaturas disponibilizadas.

Conforme apresentado na figura 1, a irradiação global no ângulo igual 15°, corresponde a uma média mensal em 209 kWh/m² e a média anual em 2504,75 kWh/m².

Já na figura 2, que apresenta a irradiação global horizontal, a média mensal é estimada em 193,92 kWh/m² e a anual em 2327,04 kWh/m².

No tocante à figura 3, apresenta-se a irradiação normal direta, na qual a média mensal corresponde a 193,42 kWh/m² e a anual a 2321,12 kWh/m².

Na figura 4, apresenta-se a média de temperaturas mensais que corresponde aproximadamente a 22,4°C.

Dimensionamento do sistema de geração fotovoltaico

Para o dimensionamento do sistema de geração, alguns dados são necessários, nomeadamente os parâmetros de consumo e as características do módulo fotovoltaicos. Estes são apresentados na tabela 1.

Tabela 1

Parâmetros de consumo e do módulo.

Carga	Nº de postes	Tempo	Energia por poste	Energia total
250W	465	12horas	3000 Wh	1.4MWh
Irradiação incidente diária do pior mês (Agosto)				5.78KWh
Potência do módulo				400W
Coeficiente de potência				-0,6%
Tensão do módulo/ Corrente do módulo				31.01V/12.90A

Nota. Parâmetros de consumo da centralidade da Praia Amélia.

Em função das especificações da tabela 1, determina-se o número de módulos a instalar pela equação 1.

$$N_p = \frac{1395000Wh}{5,78h \cdot 400W}$$

$$N_p = 603,373$$

Neste contexto, o número de módulos será de 603,3. Deste valor acrescentam-se 10%, que constitui o fator de correção da configuração e de segurança devido às perdas de cabiamento e temperatura. Logo, o número de módulos a instalar será de 664. Com efeito, o sistema não possui perdas de sombreamento, de orientação, sem perdas significativas de poeiras, pois o local de instalação é preferencialmente rochoso. Assim, é possível determinar a potência total de geração fotovoltaica e a energia gerada pelas equações 2 e 3.

$$P_t = 664 * 400W$$

$$P_t = 243200W$$

$$E_{GS} = 265600W * 5,78h$$

$$E_{GS} = 1535168Wh$$

Destes valores tem-se as condições de instalação, apresentadas nas descrições a seguir.

- ❖ Tensão do sistema: 600V;
- ❖ Corrente do sistema: 452A;
- ❖ Número de módulo em série: 19;
- ❖ Número de fileiras: 35;
- ❖ Número de módulo em paralelo (fileiras): 35.

Dimensionamento do controlador

Para o dimensionamento do controlador, deve-se considerar a corrente máxima que o sistema fornecerá, corrigi-la em 25% e em consonância com as especificações da bateria. Estes parâmetros são verificados na descrição abaixo.

- Corrente do sistema: 452 A
- Corrente corrigida (15%): 520 A
- Corrente de cada controlador: 200A
- Potência total dos controladores: 312000W

Dimensionamento do banco de bateria

Para fornecer a demanda de carga de iluminação em tempo considerado, o banco de bateria deverá ser dimensionado e escolhido com as características:

1. Demanda corrigida em 15%: 1604250Wh
2. Tensão da bateria escolhida: 51,2V
3. Tensão do sistema: 600V
4. Dias de autonomia: 0.5
5. Capacidade determinada do sistema: 1485,4Ah

Determinando o número de baterias em paralelo, pela equação 4.

$$N_{bp} = \frac{1485,4Ah}{410Ah}$$

$$N_{bp} = 3,6$$

Para a estabilidade do sistema, utilizam-se 4 baterias, armazenando assim uma margem superior de carga, aumentando a vida útil. Na sequência, calcula-se o número de baterias em série, pela equação 5.

$$N_{bs} = \frac{600V}{51,2V}$$

$$N_{bs} = 11,718$$

Este valor arredonda-se para 12 baterias ligadas em série. Contudo, o número total determina-se pela equação 6.

$$N_{Total} = 12 * 4$$

$$N_{Total} = 48$$

Este resultado implica que o sistema de armazenamento contará com 4 colunas em paralelo, com cada uma contendo 12 baterias em série.

Dimensionamento do inversor

Para o dimensionamento do inversor de cargas, tem-se como base a potência demandada de consumo de iluminação pública. Deste valor, considera-se um fator de correção de segurança em 25% da potência demandada. Assim, estes parâmetros são:

- Potência demandada: 116250W, que constitui o resultado do produto do número de postes 465 e a potencia da lâmpada, 250 W.
- Potência corrigida em 25%: 145313W

Dimensionamento dos cabos

Os condutores estão dimensionados com base nos parâmetros da equação 7. Desta feita, considerando as especificações da mesma, tem-se as características das categorias na tabela 2:

Tabela 2

Dimensionamento dos cabamentos.

<i>Categorias</i>	<i>Distâncias (m)</i>	<i>Corrente (A)</i>	<i>Tensão (V)</i>	<i>Seção (mm²)</i>
<i>Módulos</i>	1	12.90	31.01	2.5
<i>Strings</i>	2	155	600	2.5
<i>Strings aos reguladores</i>	5	155	600	5
<i>Reguladores às baterias</i>	3	465	600	10
<i>Baterias ao inversor</i>	3	465	600	10

<i>Inversor ao quadro geral</i>	3	632	230	30
---------------------------------	---	-----	-----	----

Nota. Esta tabela apresenta o dimensionamento dos cabeamentos por categorias.

Perdas ao sistema

As perdas associadas à central foram acauteladas aquando do dimensionamento. Por exemplo, os módulos estão inclinados a 15°, favorecendo a autolimpeza e orientados para o norte geográfico, pela localização sul do local. Quanto às perdas por poeira, a região apresenta condições que favorecem a inexistência de poeira e sujeiras significativas, corrigida pela inclinação e manutenção sempre que possível.

As perdas do módulo por temperatura calculam-se pela equação 8, considerando o coeficiente de potência do módulo escolhido é igual a -0,6%/°C (0,006) e a temperatura média local em 22,4°C.

$$P_{MPT} = 1 - (22,4 - 25) * (-0,006)$$

$$P_{MPT} = 0,9844$$

$$P_{MPT} = 98,44\%$$

Este resultado evidencia que o módulo, nas condições de temperatura do local, fornecerá 98,44% de sua carga máxima.

Desta feita, para a determinação das perdas nos cabos pela equação 9, serão consideradas a corrente, seção, comprimento dos cabos e considerando o cobre, como o material de que são feitos.

Perdas na ligação entre os módulos:

$$P_M = \frac{2 * 1 * 19 * 12,90^2}{2,5 * 56}$$

$$P_M = 45W$$

1- Perdas na ligação entre fileiras:

$$P_M = \frac{2 * 2 * 12 * 12,90^2}{2,5 * 56}$$

$$P_M = 457W$$

2- Perdas na ligação para os controladores:

$$P_M = \frac{2 * 5 * 1 * 155^2}{5 * 56}$$

$$P_M = 2574W$$

3- Perdas na ligação para as baterias

$$P_M = \frac{2 * 3 * 1 * 465^2}{10 * 56}$$

$$P_M = 2317W$$

$$P_M = \frac{2*5*1*155^2}{5*56}$$

$$P_M=2317W$$

Viabilidade econômica

A análise da viabilidade econômica foi baseada nos preços dos materiais na tabela 3 e nos parâmetros de produção na tabela 4.

Tabela 3

Dados da viabilidade econômica da central.

Parâmetros	Marca	Valor (KZ)	Quantidade	Total (kz)	
Módulo	Shinefar	40.145,00	608	24.408.160	
Controlador	DM	5.291.804,00	3	15.875.412	
Inversor	ATESS	2.965.244,75	1	2.965.244,75	
Bateria	Dawnice	692.498,70	48	33.239.937,6	
Dispositivos de proteção	Disjuntor	TOMZN	1.368,57	32	43.794,24
		TOMZN (2p/4p)	5.494,4/22.959,2	5/1	50.431,06
	SPD	EARU	903,26	3	2.709,78
		EARU	5.277,40	2	10.554,8
Cabeamento e conectores				100.700	
Total				76.696.944,2	
Projeto (5%)				3.834.847,21	
Instalação e manutenção (15%)				11.504.541,6	
Valor de investimento				92.036.332,8	

Nota. Esta tabela mostra os valores para avaliar a viabilidades econômica da central.

Tabela 4

Dados de produção da central fotovoltaica.

Parâmetros	Valor	Unidade
Produção diária	1.405,696	KWh
Produção Anual	513.079,04	KWh
Preço de Kwh	15,61	Kz
Fluxo de Caixa anual (F_{ci})	8.009.163,81	Kz/KWh

Valor de investimento I_0	92.036.332,8	Kz
Taxa de desconto (t)	10	(%)
Tempo de vida útil de projeto	30	Anos

Nota. Esta tabela mostra os dados de produção elétrica e econômica da central.

Com base na tabela 4, calcula-se o VPL (Valor Presente Líquido), pela equação 10, que quando positivo, o projeto vê-se viabilizado economicamente.

$$VLP_{30} = -92036332,8\text{kz} + \sum_{t=30}^{t=30} 7281058,01Kz$$

$$VLP_{30} = -92036332,8\text{kz} + 30 * 7281058,01Kz$$

$$VLP_{30} = 126395407Kz$$

Ao longo dos 30 anos, o projeto vê-se valorizado, ja que o VLP é positivo. O tempo em que o projeto será amortizado pela equação 11 é:

$$Payback_{\text{simples}} = \frac{92036332,8\text{kz}}{8009163,81\text{kz}} \text{ano}$$

$$Payback_{\text{simples}} = 11,49 \text{ anos}$$

Logo, o valor de investimento será amortizado em período aproximado de 11 anos.

Discussão e conclusões

Na presente discussão, faz-se referência a comparação dos resultados deste estudo de Angola, com os projetos de Cabo Verde e Moçambique, bem como com o projeto similiar do Huambo cita igualmente em Angola.

Angola, Cabo Verde e Moçambique possuem forte dependência aos combustíveis fósseis para a produção energética. Assim, no âmbito da luta para a estabilidade ambiental, têm dado passos significativos na utilização das fontes renováveis solar e eólica (Varela, 2021; Macita, 2022).

Angola possui 2,7% de iluminação pública (IRSEA, 2022), este valor é considerado pouco, quando comparado com Cabo Verde, que apresenta 10% de iluminação pública (Varela, 2021). Este percentual baixo de desenvolvimento elétrico em iluminação abre margens a investimentos em pesquisas e projetos de iluminação, em relação à Cabo Verde.

Com efeito, o presente projeto de central para iluminação pública, é uma primeira aproximação a este investimento, podendo ser comparada com o projeto de iluminação pública na cidade de Ribeira Grande de Santiago em Cabo Verde baseada na fonte fotovoltaica,

(Varela, 2021, p.53) e ao projeto de iluminação do bairro 3 de fevereiro em Maputo em Moçambique (Macita, 2022).

Desta comparação, evidencia-se uma semelhança na utilização de sistemas fotovoltaicos isolados e diferenças técnicas no dimensionamento e nas cargas para iluminação, em que o presente projeto apresenta 116250W, funcionando em 12 horas, o projeto de Cabo Verde possui potência de 11268W (9,6% da Centralidade), funcionando em 11 horas e o projeto de Moçambique com 8051 W (6,9% da Centralidade) e funcionamento em 12 horas.

Assim, o valor percentual do projeto de iluminação de Cabo Verde em 9,6% e Moçambique em 6,9%, faz do presente projeto, mais ambicioso e com um impacto positivo mais importante na diminuição dos níveis de emissões de gases poluentes e maior relevância social e económica.

Os projetos de Cabo Verde e Moçambique, embora localizados na iluminação pública, mostram claramente um olhar parcial no aproveitamento do enorme potencial em energia fotovoltaica. Assim, uma forma de apoio à diminuição dos níveis de gases poluentes seria a necessidade de projetos mais abrangentes. Por isso, em comparação, o projeto de Centralidade constitui uma central de produção, enquanto os restantes focalizam suas atenções no aproveitamento integrado aos postes de iluminação.

Outra comparação a nível do país, pode ser feita com o projeto da central fotovoltaica para o Bairro Ngongoinga no província do Huambo em Angola que apresenta-se mais abrangente e com uma carga total de 2MW (Pinto, 2024), que produz 6 % a mais, em relação ao presente projeto, pela sua cobertura total a carga do bairro.

Contudo, uma vez que Moçâmedes produz 71,8MW a partir de combustível fóssil, fornecida pelas centrais térmicas do Xitoto 2, 3 e a central do Aeroporto (PRODEL, 2025). Assim, o presente projeto, com margem de produção de 265600W no mês crítico, revela uma diminuição considerável de 0,37%.

Assim, esta diminuição em 0,37% de combustível pelas centrais térmicas, mostra um estimável valor socioeconómico no município e em Angola, uma vez que redireciona este percentual em combustível para outras finalidades, além de diminuir os níveis de gases poluentes à atmosfera e levando o país na escala de países com apostas firmes na descarbonização ambiental.

Dos valores anuais e mensais das irradiações dispostos, verifica-se que a irradiação global no ângulo igual à latitude (15°) apresenta-se a mais bem considerável por possuir o valor mais alto entre outros valores das irradiações. Este resultado reforça a ideia de que a

inclinação dos módulos, quando iguais à latitude do local, possibilita o aproveitamento energético que viabiliza economicamente os sistemas fotovoltaicos.

Esta inclinação permite ao sistema, não só um alto aproveitamento energético, como permite ao sistema uma automanutenção, baseada na autolimpeza dos módulos pela ação, resíduos e água das chuvas.

Com efeito, a temperatura média local pode satisfazer os objetivos fotovoltaicos, uma vez que, quando analisadas as curvas das temperaturas altas e baixas, é possível verificar limites não superiores a 26 °C e não inferiores a 18 °C.

O sistema apresenta-se propício quanto à orientação ao hemisfério norte, e por estar localizado numa área desértica e rochosa, não prevê nenhuma margem de sombreamento. Quanto às perdas significativas por poeiras, não se prevê, mas em situações que diversas, uma manutenção regular poderia acautelá-las. Outro, sim, pela inclinação 15,0° o efeito do acúmulo de poeira será menor, pois o módulo pode ser limpo com chuva (Silva, et al., 2018, p. 15).

Portanto, a temperatura possui grande influência na geração de energia, o seu aumento em níveis acima das condições laboratoriais 25°C, diminui os níveis de consideráveis. Assim, segundo Almeida (2012, citado por Silva, et al., 2018, p. 16), a potência do gerador fotovoltaico cai entre 0,3 e 4% a cada aumento de 1 °C.

Neste contexto, em função das condições locais de temperatura, os módulos apresentam perdas na ordem de 1,6% (6W). Assim o módulo fornece uma carga significativa acima de 98% (394W) dos 400W de potência nominal.

As perdas por cabeamento em todo sistema, foram avaliadas em 7309 W. Este valor não constitui perdas que comprometam o sistema, nem a possibilidade de satisfazer a demanda. Pois constitui uma potência de 19 módulos trabalhando com potência relacionada a perda de temperatura (394W), em um sistema com demanda de 603 módulos no mês crítico e com disponibilidade de 664 módulos em geração.

O projeto apresenta viabilidade econômica, pois o investimento de 92.036.332,8Kz (92.036,33 Euro), amortiza-se em 11 anos, se comparado ao projeto de Huambo com um investimento 1.604.241.750 Kz (1.604.241, 75 Euro) que se vê viabilizado em 18 anos (Pinto, 2024), já o projeto de Maputo vê-se amortizado em 9 anos (Macita, 2022, p.51), por fim, o projeto de Cabo Verde apresenta-se inviável, pois passado 25 anos, não se vê amortizado (Varela, 2021, p. 78).

A situação ambiental atual mostra-se preocupante. Esta preocupação, fruto das atividades antrópicas, torna o setor energético, baseado nos combustíveis fósseis, um dos principais vilões. Neste contexto, existe uma comunhão entre os Estados em reverter a

situação pela criação de políticas energéticas públicas ou privadas baseadas nas energias renováveis. Desta forma, a escolha da fonte limpa deve basear-se num estudo profundo de análises de questões estruturantes, com foco na disponibilidade do recurso, num dimensionamento real e nos impactos social e económico da região.

O Estado angolano já deu, sim, à utilização das energias renováveis, fruto disso são os vários projetos implementados e os vários estudos de viabilização de recursos disponíveis em andamento denominados novas renováveis. Com efeito, ao cumprimento dos objetivos locais e globais, o presente artigo localiza a fonte solar como a mais viável e trata de dimensionar a central para aproveitar o enorme potencial fotovoltaico disponível em Moçâmedes (ALER, 2022).

Destas alegações pode-se concluir que a energia fotovoltaica, caracterizada pela renovabilidade diária, possui potencial que quando aproveitada com os mais atuais componentes fotovoltaico, fornece energia para satisfação das necessidades energéticas demandadas.

Noutra conclusão, a centralidade da Praia Amélia, pelas dificuldades devido a iluminação pública irregular, carece de um fornecimento auxiliar que pode advir do aproveitamento do recurso solar disponível.

Por outra, conclui-se que o dimensionamento da central foi baseado nos critérios de avaliação do recurso solar, avaliação das necessidades energéticas para iluminação e do estudo das perdas inerentes ao sistema. Portanto, o dimensionamento satisfaz a demanda, pois o recurso solar é aproveitável, as necessidades foram satisfeitas e as possíveis perdas foram acauteladas, não comprometendo a geração energética em níveis adequados.

Quanto à viabilidade económica da central, conclui-se que o VPL, por ser positivo ao longo do tempo de vida útil da central, mostra que a central é viável. Noutro, porém, o payback mostra que o projeto será amortizado num tempo aproximado de 11 anos, tempo considerável viável em sistemas de geração fotovoltaica.

Desta feita, constituem limitações importantes a sazonalidade e mudanças constantes nas informações meteorológicas, o que pode ter um impacto muito importante nos parâmetros de irradiação.

Outra limitação consiste na possibilidade de implementação do presente projeto, visto que qualquer projeto de central fotovoltaica acarreta inicialmente um gasto económico elevado. Este fato faz com que muitas vezes não seja financiado, principalmente em um país dependente maioritariamente do petróleo para geração mais imediata de energia.

Outra limitação para implementação são as diferenças significativas no seu estado de governo. O que retarda as perspectivas energéticas embrionárias da utilização das energias renováveis com enfoque fotovoltaico. Outra limitação é o custo de eletricidade em Angola, considerado muito baixo, o que faz com que os projetos levem mais tempo para viabilização.

Algumas destas limitações foram acauteladas, principalmente as possíveis variações nos níveis de irradiação e os possíveis níveis de poeira. Estas limitações mostram-se pouco relevantes, pois a região apresenta condições meteorológicas propícias e que com a margem de segurança considerada no dimensionamento pode-se ultrapassar essas limitações. Igualmente quanto à análise econômica, a central apresenta-se viável, portanto, financiável, pois, conforme Pinho e Galdinho (2014, p. 477), os projetos fotovoltaicos têm uma vida útil de 25 anos de funcionamento normal, podendo alcançar 30 anos.

Contudo, o presente projeto abre visão abrangente a outros projetos futuros. Desta feita, perpetiva-se futuramente que projeto de uma central híbrida renovável (solar, eólica), que pudesse abastecer todas as cargas da centralidade poderia apoiar e dar continuidade a este projeto de investigação.

Agradecimientos

Agradeço primeiramente a Deus todo-poderoso, por me dar o fôlego vital, no qual assenta toda minha força e sabedoria.

Agradeço à minha mulher, Luciana Micayela Tomás Abel, por me ajudar e acompanhar nos trilhos científicos e aos meus filhos, Judith Abel e Eliezer Abel, por constituírem a minha inspiração.

Conflicto de intereses

O artigo é de propriedade integral do autor que delineou todas as atividades individualmente e não há nenhuma ligação com outros autores.

Referências

- Azambuja, A. V. R. (2022). *Estudo e projeto de um sistema fotovoltaico para a casa do estudante* [Monografia de licenciatura, Universidade Federal da Grande Dourados]. Repositório Institucional UFGD. <http://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/5027>
- Associação Lusófona de Energias Renováveis (ALER). (2022). *Energias renováveis em Angola: Relatório nacional do ponto de situação*. https://www.aler-renovaveis.org/contents/activitiesdocuments/aler-relatorio-angola_9528.pdf
- Barreto, F. J. (2024). *Planeamento centrado na manutenção de usinas fotovoltaicas: Uma abordagem visando a eficiência* [Monografia de licenciatura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. LUME Repositório Digital. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/274163>
- European Commission, Joint Research Centre. (2024). *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)* [database]. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- Fadigas, E. A. F. A. (2004). *Energia solar fotovoltaica: Fundamentos, conversão e viabilidade técnico-econômica*. GEPEA – Grupo de Energia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. <https://pt.slideshare.net/alvferreira/apostila-energia-solar-fotovoltaica-fundamentos-converso-e-viabilidade-tnicoeconmica>
- Granja, A. V. C. (2017). *Estudo e otimização de uma central fotovoltaica de 1 MW* [Dissertação de mestrado, Universidade do Porto]. Repositório Aberto. <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/102539>
- Grijó, M. T. S. P. M. (2014). *O impacto da produção de energia solar fotovoltaica no crescimento económico: Casos da Alemanha, Espanha, França, Itália, Portugal e Reino Unido* [Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto]. https://sigarra.up.pt/fep/pt/pub_geral.show_file?pi_doc_id=26943
- Ideal Estudos e Soluções Solares (IESS). (2019). *Guia de boas práticas em sistemas fotovoltaicos*. IESS. https://cooperacaobrasil-alemanha.com/SEF/Guia_de_Boas_Praticas_Sistemas_Fotovoltaicos.pdf
- Instituto Regulador dos Serviços de Electricidade e de Água (IRSEA). (2022, 14–15 de dezembro). *Transição para energias limpas e renováveis*. Conferência Anual da RERA, Palmeiras Suites Hotel, Luanda, Angola. <http://www.irsea.gov.ao/wp-content/uploads/2023/02/Eng-Joao-Pacata-Fernandes-Iniciativas-Estrategicas-de-Energias-Renovaveis-em-Angola-Politicas-Plano-Nacional-PND-Angola-2025.pdf>
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2024). *Country indicators and SDGs: Energy profile Angola*. <https://www.irena.org/>

- /media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Africa/Angola_Africa_RE_S
P.pdf
- Leite, E. D., & Alves, W. F. (2023). Iluminação pública: sua relevância para a segurança e qualidade de vida do cidadão. *Revista Contemporânea*, 3(7), p.8223-824. <https://doi.org/10.56083/RCV3N7-046>
- Lemba, I., Ferreira, D. M., & Robaina, M. (2021). Electric energy planning in Namibe, Angola: Inserting renewable energies in search of a sustainable energy mix. *Journal of Energy in Southern Africa*, 32(4), 69–86. <https://www.researchgate.net/publication/357007321>
- Losekann, L., & Botelho, F. T. (2019). *Política energética no BRICS: Desafios da transição energética*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/211446/1/167178071X.pdf>
- Madeira, O. U. (Coord.). (2022). *Relatório de estudo de pré-viabilidade ambiental e definição de âmbito EPDA: Projeto de construção e operação de uma central solar fotovoltaica de 40 MWp*. Manje. https://proler.gov.mz/wp-content/uploads/2022/04/Manje_EPDA_27032022.pdf
- Macita, D. E. (2022). *Optimização da iluminação pública utilizando sistema fotovoltaico em um lote do bairro 3 de fevereiro* [Monografia de licenciatura, Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane]. <http://monografias.uem.mz/jspui/bitstream/123456789/2669/1/2022%20-Macita%2c%20Dan%3adlson%20Eug%3a9nio.pdf>
- Mariano, J. D., & Urbanetz, Junior, J. (2022). *Energia solar fotovoltaica: Princípios fundamentais*. Atenas Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.752221803>
- Morais, A. M., & Neves, I. P. (2007). Fazer investigação usando uma abordagem metodológica mista. *Revista Portuguesa de Educação*, 20 (2), 75-104 (2007). [.https://repositorio.ulisboa.pt/bitstream/10451/4392/1/Morais%20A%20M%20%20%20Neves%20I%20P_Fazer%20Investigacao.pdf](https://repositorio.ulisboa.pt/bitstream/10451/4392/1/Morais%20A%20M%20%20%20Neves%20I%20P_Fazer%20Investigacao.pdf)
- Moreno, H. (2019). *Cabos elétricos para instalações fotovoltaicas*. Scribd. <https://pt.scribd.com/document/440706225/Cabos-Eletricos-Para-Instalacoes-Fotovoltaicas-Hilton-Moreno-COBRECOM>
- Oliveira, M. S. (2023). *Desenvolvimento de sistema de monitoramento e gerenciamento para microgeradores residenciais dotados de geração solar fotovoltaica e sistema de armazenamento de energia por bateria* [Monografia de licenciatura, Universidade Federal de Pernambuco]. Repositório Institucional UFPE. <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/50259>

- Ovelha, R. M. R. V. (2017). *Projeto, dimensionamento e instalação de solução fotovoltaica numa moradia off-grid* [Dissertação de mestrado, Universidade de Lisboa]. Repositório ULisboa. <https://repositorio.ulisboa.pt/handle/10451/31733>
- Pereira, A. J. S. (2022). *Concepção de uma central fotovoltaica* [Dissertação de mestrado, Universidade do Minho]. Repositório Institucional UMinho. <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/83389>
- Pinho, J. T., & Galdino, M. A. (2014). *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. CEPEL. https://cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf
- Pinto, V. P. (2024). *Implementação de uma central fotovoltaica para o bairro de Ngongoinga, município do Huambo* [Monografia de licenciatura, Instituto Superior Politécnico de Caála]. https://sigiisp.ispcaala.com/_repositorio/Arqui_VITORINA%20PAULINA%20PINTO_273fe7cdf5e51456d96255d937e1dce0.pdf
- Empresa Pública de Produção de Eletricidade (PRODEL). (2025). *Produção Térmica em Angola*. <https://www.prodel.co.ao/o-que-fazemos/producao-termica>
- Silva, P. H. T., Florian, F., & Pestana, F. A. B. (2018). *Estudo de perdas em sistemas fotovoltaicos*. Universidade de Araraquara. https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_pedrohenriquetronco_04dez2018.doc_3.pdf
- Soares, D. O., & Santos, M. G. C. dos. (2020). *Possíveis benefícios da utilização do sistema de energia solar fotovoltaica para a sustentabilidade ambiental*. *Anais do Fórum Regional de Administração*, 87–107. https://www.unirios.edu.br/eventos/forumadm/anais/arquivos/2020/possiveis_beneficios_da_utilizacao_do_sistema_de_energia_solar.pdf
- Sousa, C. P., & Franco, T. A. S. (2018). *Projeto e instalação de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede de distribuição* [Monografia de licenciatura, Universidade Federal do Paraná – Campus Curitiba]. Repositório Institucional UFPR. <https://www.eletrica.ufpr.br/p/arquivostccs/493.pdf>
- Teixeira, V. A., & Silva, O. (2021). *Sobre as perdas de potência em painéis fotovoltaicos: Uma abordagem à luz das teorias físicas dos semicondutores*. Instituto Federal de Pernambuco. <https://repositorio.ifpe.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/985/Sobre%20as%20perdas%20de%20pot%C3%Aancia%20em%20pain%C3%A9is%20fotovoltaicos%20->

%20Uma%20abordagem%20%20luz%20das%20teorias%20f%20%20dos%20semicondutores.pdf

Tonolo, E. A. (2019). *Análise dos fatores de perdas nos sistemas fotovoltaicos da UTFPR campus Curitiba* [Dissertação de mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná]. <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4664>

Tsshara, (19-Junho de 2024). *9 problemas causados pela falta de energia elétrica*. <https://tsshara.com.br/blog/falta-de-energia/9-problemas-causados-pela-falta-de-energia-eletrica-e-como-resolver/#:~:text=4.->

,Interrup%20de%20Servi%20Essenciais,sistemas%20de%20seguran%20e%20comunica%20.

Uczai, P., & Tavares, W. M. (Coord.). (2012). *Energias renováveis: Riqueza sustentável ao alcance da sociedade* (Série Cadernos de Altos Estudos, nº 10). Edições Câmara. <https://www2.camara.leg.br/a-camara/estruturaadm/altosestudios/pdf/energias-renovaveis-riqueza-sustentavel-ao-alcance-da-sociedade>

Varela, E. L. (2021). *Sistemas autónomos de iluminação pública com energias renováveis em Cabo Verde* [Dissertação de mestrado, Universidade do Algarve]. <https://sapientia.ualg.pt/server/api/core/bitstreams/2bc6a6ea-d3b3-49f1-af7e-84c5652bd7c4/content>

Wate, E. V. (2023). *Dimensionamento de sistema fotovoltaico para fornecimento de energia elétrica à empresa Sumol+Compal Moçambique SA* [Monografia de licenciatura, Universidade Eduardo Mondlane]. <http://monografias.uem.mz/bitstream/123456789/3992/1/2023%20-%20Wate%20Eduardo%20Vasco.pdf>