

CASA-LABORATÓRIO DO MINEA - UMA PLATAFORMA AVANÇADA PARA O ESTUDO TÉCNICO-ECONÓMICO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM ANGOLA

Munzila D. Jackson¹, Fernando J. T. E. Ferreira^{3,4} e Rui J. Quivota^{1,2},

¹ Ministério da Energia e Águas de Angola, Luanda, Angola

² Centro de Formação Hoji-Ya-Henda, Luanda, Angola

³ Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Instituto Politécnico de Coimbra, Coimbra, Portugal

⁴ Instituto de Sistemas e Robótica, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal

1. INTRODUÇÃO

Actualmente, por razões ambientais, económicas, geopolíticas e/ou técnicas, é desejável a redução da dependência dos combustíveis fósseis e o aumento da utilização de fontes de energia renováveis ou alternativas. Mesmo nos países produtores/exportadores de petróleo, o investimento no fabrico e/ou na instalação de sistemas de produção de energia eléctrica baseados em fontes de energia renováveis tem aumentado significativamente, destacando-se os sistemas hidroeléctricos, eólicos, fotovoltaicos e biomássicos (onde se incluem os biocombustíveis), sendo parte integrante de um conjunto de estratégias para assegurar o seu desenvolvimento sustentável a médio e longo prazo.

Angola não tem sido excepção, tendo vindo a fazer um esforço notável no sentido de aumentar a produção hidroeléctrica (incluindo a construção de mini-hídricas) e reabilitar/estender as linhas de transporte e distribuição de energia eléctrica.

Sendo a intensidade de radiação solar elevada em todo o território angolano (Fig. 1), desde 1982, o Ministério da Energia e Águas de Angola (MINEA) tem vindo a promover um programa de demonstração, estudo e instalação de sistemas fotovoltaicos, que têm especial interesse para as zonas remotas sem acesso à rede eléctrica pública.

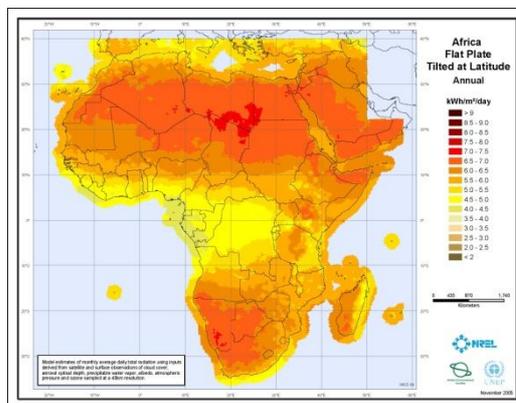


Fig. 1. Energia solar (kWh/m²/dia) em África.

Nessas zonas, o acesso à energia eléctrica por parte das populações locais é um importante factor de desenvolvimento económico, educacional e social.

Neste âmbito, vários sistemas fotovoltaicos isolados/autónomos (i.e., isolados da rede eléctrica pública; também designados sistemas *off-grid*) de baixa capacidade/potência têm vindo a ser instalados em quase todas as províncias de Angola, para uso público e privado. Os sistemas instalados são na sua grande maioria de cariz demonstrativo.

Apesar do elevado custo inicial dos sistemas fotovoltaicos isolados, quando, por exemplo, se compara o seu custo de ciclo de vida (*Life-Cycle Cost*, LCC) com o dos geradores diesel, num período de 15 a 20 anos, tornam-se economicamente competitivos.

Assim, em 2006, o MINEA identificou e projectou a construção de um sistema fotovoltaico no âmbito do projecto "Casa-Laboratório" (denominado *Casol*). A Casa-Laboratório, por razões estratégicas e de gestão, foi construída no campus do Centro de Formação de Quadros de Electricidade Hoji-Ya-Henda (CFHH), em Luanda (Figs. 1 e 2).

O objectivo fundamental do projecto *Casol* é de estudar, investigar e monitorizar com elevada precisão e em tempo real as variáveis ambientais e eléctricas associadas à produção e à utilização eficiente de energia fotovoltaica.

Em suma, trata-se de uma plataforma avançada para o estudo técnico-económico de sistemas fotovoltaicos, integrando um sistema fotovoltaico autónomo e um sistema avançado de monitorização de grandezas solares, ambientais e eléctricas, especialmente desenvolvido para este efeito.

O sistema de aquisição de dados regista, a intensidade da radiação solar, a quantidade de energia solar disponível, a energia gerada nos painéis fotovoltaicos, o consumo global e o de algumas cargas específicas, as principais grandezas eléctricas em diversos pontos do sistema de alimentação e armazenamento de energia (e.g.,

potência, tensão, corrente, factor de potência, distorção harmónica total, etc.) e as temperaturas do ambiente e dos módulos.

Está ainda instalada na Casa-Laboratório uma mini-estação meteorológica que permite medir a velocidade e a direcção do vento, a temperatura externa e interna, a humidade relativa e a pluviosidade.

Este espaço poderá ainda servir para testar tecnologias/equipamentos eficientes (ou de baixo consumo) para uso doméstico e industrial (por exemplo, frigoríficos, aparelhos de ar-condicionado, lâmpadas e motores eléctricos) com o objectivo de evidenciar/estudar as diferenças no custo inicial, no custo de exploração (consumo) e no LCC.

É intenção do CFHH criar uma biblioteca dedicada aos referidos assuntos e uma página na Internet onde se publicará periodicamente os dados das variáveis monitorizadas/medidas, proporcionando assim um conjunto de dados técnicos apropriados e necessários ao dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos bem como à avaliação técnico-económica dos investimentos em sistemas fotovoltaicos em território angolano

Estão ainda planeadas várias acções de sensibilização e de formação técnica nos tópicos mencionados, incluindo a realização de visitas de estudo dirigidas aos estudantes dos vários níveis de ensino, com vista a sensibilizá-los para a importância das energias renováveis e da eficiência energética.



Fig. 1. Pessoas envolvidas na implementação do projecto Casol: (esquerda: Dr. Munzila Jackson; centro: Dr. Rui Quivota, Director do CFHH; direita: Prof. Dr. Fernando Estêvão Ferreira).



Fig. 2. Casa-Laboratório.

2. SISTEMA FOTOVOLTAICO DO CASOL

O sistema fotovoltaico isolado instalado na Casa-Laboratório do CFHH (Figs. 3, 4, 5), tem uma potência de pico de 2,7 kW. A instalação eléctrica da Casa-Laboratório pode ser ligada à rede pública ou ao sistema fotovoltaico através de um comutador manual (Fig. 6).



Fig. 3. Paineis fotovoltaicos e "casa-laboratório".



Fig. 4. Banco de baterias.



Fig. 5. Barramento DC e conversor (ou regulador) DC-DC.



Fig. 6. Comutador Rede/Solar de alimentação da Casa-Laboratório.

3. SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO

Na Fig. 7, apresenta-se o esquema geral do sistema fotovoltaico instalado e os pontos de aquisição de dados do sistema de monitorização. O sistema de monitorização desenvolvido permite medir com elevada precisão: (a) a tensão e a corrente DC à saída dos painéis fotovoltaicos; (b) a tensão AC, a corrente AC, o factor de potência e a distorção harmónica total da tensão e da corrente à saída do inversor; (c) a radiação solar em dois planos distintos (e.g., horizontal e inclinado); (d) temperatura em quatro pontos distintos (e.g., superfície inferior dos painéis). Com estes dados, o sistema determina a potência solar, a potência DC e a potência activa AC, cuja integração num período definido permite calcular as respectivas energias, bem como o rendimento em potência e em energia dos painéis fotovoltaicos e do sistema de conversão DC-AC (incluindo as baterias, conversor DC-DC e inversor DC-AC). O sistema permite ainda medir a variação da intensidade da radiação solar e da produção de energia em função da inclinação e da orientação dos painéis, determinar a inclinação óptima dos painéis, avaliar o potencial de produção de energia fotovoltaica em Luanda (e.g., energia solar diária em kWh/m²/dia), analisar a influência do aquecimento dos painéis no seu rendimento, quantificar as perdas no conversor DC-AC, analisar a qualidade da energia à saída do inversor ou da rede pública, entre outros aspectos.

Este sistema é composto por um computador, um programa/software de processamento e visualização de dados, um módulo de acondicionamento de sinais, uma pinça amperimétrica de corrente alternada, uma pinça amperimétrica corrente contínua, dois piranómetros de Classe I (Fig. 8), quatro sensores de temperatura (Fig. 9). O grau de inclinação de um dos piranómetros é regulável. Na Fig. 10, mostra-se o sistema de aquisição montado e em funcionamento.

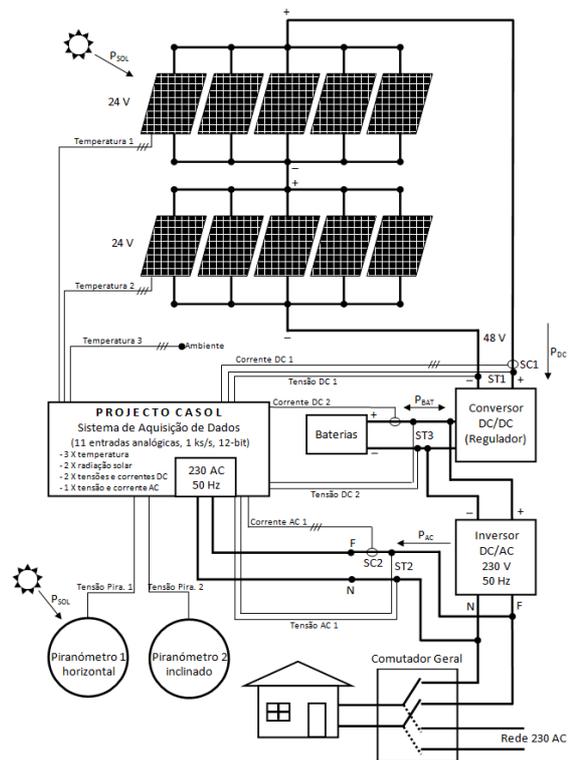


Fig. 7. Esquema geral dos sistemas fotovoltaico e de monitorização implementados.



Fig. 8. Piranómetros.



Fig. 9. Sensores de temperatura.

O módulo de acondicionamento de sinais tem como principal função servir de interface entre os sensores externos e o computador. Este módulo possui amplificadores, controladores/drivers, fontes de tensão, sensores internos e uma placa de aquisição de dados. Foi desenvolvido por forma a ser preciso, robusto e imune a interferências electromagnéticas. Os três transdutores de tensão internos são de elevada precisão e possuem isolamento galvânico. O módulo incorpora ainda três sensores de corrente internos de elevada precisão, que podem ser utilizados para medir correntes alternadas ou contínuas até 50 A. Todos

os sinais são adquiridos pela placa de aquisição de dados, que transmite os dados para o PC via USB.



Fig. 10. Sistema de monitorização.

Para amplificar 100 vezes os sinais provenientes dos dois piranómetros de Classe I, utilizam-se dois amplificadores de precisão com um ganho fixo de 100, garantindo um erro muito reduzido na medida da radiação solar ($< 0,5\%$). Os piranómetros escolhidos são indicados para medidas de rotina da radiação solar global ao nível ou no plano da superfície, sendo totalmente compatíveis com as especificações da norma ISO 9060 para os piranómetros de primeira classe (*first class*).

As temperaturas são medidas por meio de termístores.

O programa/software de processamento e visualização de dados foi concebido por forma a permitir uma utilização intuitiva das suas funcionalidades. A interface com o utilizador é em ambiente Windows.

O programa integra dois painéis diferentes, conforme se pode ver na Fig. 11, sendo o da esquerda para visualizar dados de forma gráfica e o da direita para programar o seu funcionamento e visualizar dados de forma numérica.

No painel de visualização numérica (Fig. 12), para além de todos os campos imediatamente visíveis após a abertura do programa, há ainda um grupo de campos de calibração à esquerda, sendo necessário deslocar o painel para os visualizar.

As energias são calculadas através da integração das potências.

A título de exemplo, apresenta-se nas Figs. 13 e 14 a evolução da radiação solar (W/m^2) e da energia solar ($kWh/m^2/dia$) durante 24 horas, em Luanda.

Os dados gravados pelo programa podem ser posteriormente editados em Excel, com vista à realização de gráficos e relatórios.

Refira-se ainda que, através da Internet, por meio de aplicações informáticas auxiliares, os dados monitorizados no computador da Casa-Laboratório

podem ser visualizados em tempo real em qualquer parte do mundo.

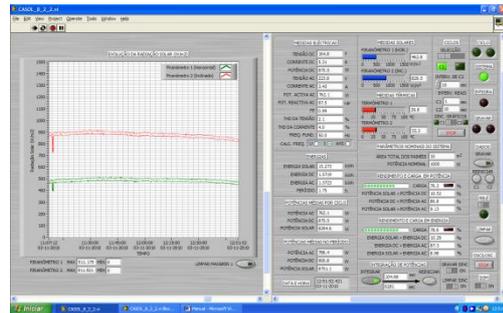


Fig. 11. Software CASOL_v1p0.

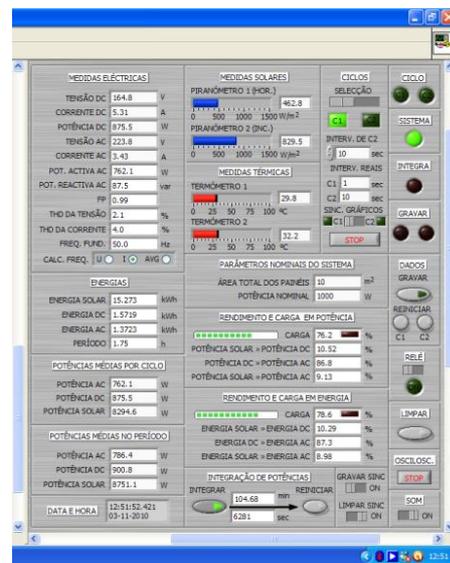


Fig. 12. Painel numérico (painel direito) e respectivos campos de calibração das pinças de corrente e dos sensores de tensão.

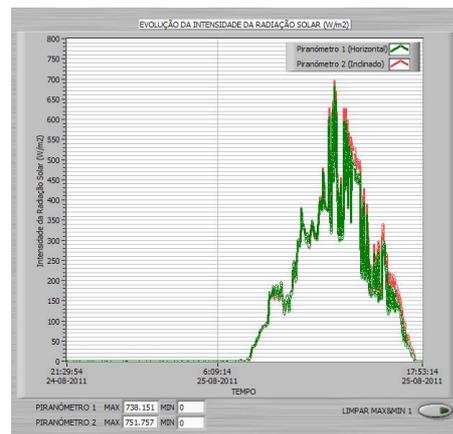


Fig. 13. Gráfico com a evolução da radiação solar em Luanda.

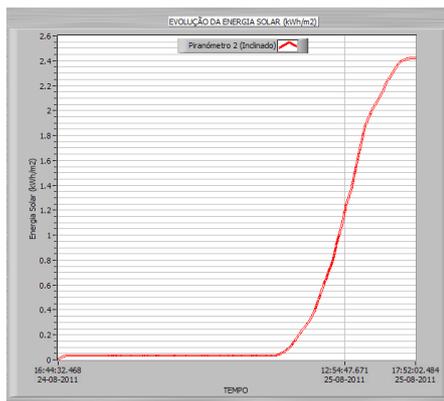


Fig. 14. Gráfico com a evolução da energia solar em Luanda.

4. CONCLUSÕES

O sistema proposto é muito intuitivo, tendo flexibilidade suficiente para permitir a sua utilização para fins didáticos, profissionais e científicos, permitindo quantificar o rendimento dos painéis fotovoltaicos, do inversor e do sistema. A utilização de piranómetros de Classe I permitirá a quantificação com elevada precisão da radiação solar na região solar em Luanda, ao longo de todo o ano. Como o sistema possui um piranómetro com orientação ajustável, é possível realizar estudos relativos ao impacto da inclinação dos painéis na produção de energia. Estes dados são particularmente importantes para os estudos de viabilidade económica dos sistemas fotovoltaicos isolados ou ligados à rede pública.

A plataforma desenvolvida é expansível em termos de número de sensores utilizados, permitindo a sua adaptação a eventuais alterações nos sistemas monitorizados.

Com a implementação do projecto *Casol*, o Centro de Formação Hoji-Ya-Henda fica equipado com uma plataforma avançada de instrumentação virtual que, para além de servir para estudar os sistemas fotovoltaicos, também serve para, por exemplo, monitorizar a qualidade da energia na rede eléctrica pública (e.g., amplitude e distorção da tensão, cortes no fornecimento de energia, etc.), permitindo elaborar relatórios técnicos para outras entidades, como por exemplo a EDEL.

É intenção dos promotores deste projecto a instalação de mais dois ou três sistemas similares no norte, centro e sul do país, desejavelmente com uma potência de pico instalada de 3 MW, passíveis de funcionar isoladamente (*off-grid*) ou integrados na rede (*on-grid*). Para além da mais valia técnico-científica, a rentabilização destes sistemas poderá ser feita mediante a criação de uma rede eléctrica local com um tarifário pré-pago.