

INTEGRAÇÃO COMBINADA DE REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E ARMAZENAMENTO DE ENERGIA DE BASE RENOVÁVEL EM EDIFÍCIO PÚBLICO – PROJETO IMPROVEMENT SUDOE

Loureiro, D., Correia, J., Facão, J., Rodrigues, C., Aelenei, L., Estanqueiro, A.

Unidade de Energias Renováveis e Eficiência Energética - UEREE

Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Estrada do Paço do Lumiar, 22, 1649-038 Lisboa, Portugal

joao.correia@lneg.pt

RESUMO

O projeto IMPROVEMENT SUDOE, “*Integration of combined cooling, heating and power microgrids in zero-energy public buildings under high power quality and continuity of service requirements*”, tem por base uma parceria entre Portugal, Espanha e França, e tem como objetivo o desenvolvimento e implementação de abordagens inovadoras na renovação de edifícios públicos, alinhada com os objetivos europeus para o setor da construção e, particularmente, com as medidas inscritas no PNEC 2030.

O edifício público selecionado pelo LNEG e pelo IST para constituir a Área Piloto como estudo de caso português, está situado no LNEG – campus do Lumiar, identificado como Edifício C. Tendo sido construído na década de oitenta identificou-se a necessidade da sua requalificação, adotando-se como estratégia experimental a integração de microredes com fontes renováveis e geração combinada de calor, frio e eletricidade, equipadas com sistemas de armazenamento híbrido - térmico e elétrico.

PALAVRAS-CHAVE: nZEB, solar térmico, microredes, fotovoltaico, energias renováveis

ABSTRACT

The IMPROVEMENT SUDOE project, “*Integration of combined cooling, heating and power microgrids in zero-energy public buildings under high power quality and continuity of service requirements*”, is based on a partnership between Portugal, Spain and France, and aims to develop and implementation of innovative approaches in the renovation of public buildings, in line with European objectives for the construction sector and, in particular, with the measures included in the PNEC 2030.

The public building selected by LNEG and IST to constitute the Pilot Area as a Portuguese case study is located at LNEG – Lumiar campus, identified as Building C. Having been built in the 1980s, the need for its requalification was identified, adopting as an experimental strategy the integration of microgrids with renewable energies and combined generation of heat, cold and electricity, equipped with hybrid storage systems - thermal and electrical.

KEYWORDS: nZEB, solar thermal, microgrids, photovoltaic, renewable energies

INTRODUÇÃO

O projeto IMPROVEMENT SUDOE, “*Integration of combined cooling, heating and power microgrids in zero-energy public buildings under high power quality and continuity of service requirements*”, conta com parceiros de Portugal, Espanha e França, focados na integração de sistemas de energias renováveis (RES) e no desenvolvimento da eficiência energética (EE) em edifícios públicos com exigências sanitárias e de conforto, aplicando e validando abordagens multidisciplinares inovadoras na renovação desses mesmos edifícios.

Foi desenvolvida e está a ser monitorizada pelos parceiros portugueses LNEG e IST, uma Área Piloto em instalações públicas em Lisboa, como um caso de estudo real em gabinetes e salas de reuniões, com o objetivo de testar, validar e demonstrar um sistema de gestão inovador para microrredes de máxima eficiência e utilização prioritária de geração renovável, a partir de energia solar térmica, fotovoltaica e eólica, e utilização combinada de aquecimento e refrigeração, eletricidade e sistemas de armazenamento híbrido de energia.

A Área Piloto integra diferentes tipologias de utilização e foi requalificada para a meta nZEB com a implementação de medidas passivas energéticas - iluminação natural e dispositivos de sombreamento, iluminação eficiente, isolamento térmico, materiais de mudança de fase, renovação elétrica e microrredes energética com geração renovável e armazenamento de sistemas térmico e elétrico. A caracterização dos parâmetros de conforto e de eficiência térmica de aquecimento e de arrefecimento da Área Piloto é monitorizada através dum sistema de aquisição e registo de variáveis do funcionamento do edifício, aliando uma interface *web* de supervisão e controlo.

Os resultados do projeto IMPROVEMENT SUDOE irão fomentar a aplicação de políticas públicas relativas à eficiência energética a utilização de fontes de energia renováveis em edifícios públicos de serviços, incentivando a implementação de microrredes, a gestão inteligente dos consumos, promover a digitalização do sector energético, bem como a demonstração experimental de técnicas e estratégias.

METAS DE NEUTRALIDADE CARBÓNICA E nZEB NOS EDIFÍCIOS

As metas prioritárias definidas no programa Horizonte 2030 e que fazem parte integrante do Pacto Ecológico 2050 são um enorme desafio para a União Europeia e estão a dar um contributo decisivo para a promoção da eficiência energética e a integração da geração renovável em todos os setores e um contributo decisivo para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. A promoção da eficiência energética e da integração das energias renováveis nos edifícios como estratégia para reduzir a dependência de combustíveis fósseis, especificamente destinadas à reabilitação urbana, representa o alinhamento da economia nacional através do PNEC 2030 rumo à neutralidade carbónica.

Na estratégia de Ação Climática até 2030 da União Europeia (UE) ficaram definidas metas prioritárias com os estados membros (EU 2018/1999), sobre segurança e eficiência energética, mercado interno da energia, descarbonização e investigação, inovação e competitividade, tendo resultado, em Portugal, a adoção do Programa Nacional de Energia e Clima (PNEC 2030).

O PNEC 2030 é o principal instrumento nacional de política energética e climática para a década 2021-2030, com objetivos de redução de emissões de gases com efeito de estufa (45% a 55%, em relação a 2005), aumento da incorporação de fontes de energia renovável (47%) e foco no aumento de eficiência energética e no consumidor de energia (35%).

O PNEC 2030 concretiza as medidas para a aplicação das orientações do Roteiro para a Neutralidade Carbónica estabelecendo programas que visam a descarbonização total do setor do edificado residencial e não residencial até 2050 (RNC2050). A Estratégia de Longo Prazo para a Renovação de Edifícios (ELPRE) é uma das medidas de investimento público que financia um roteiro para a renovação energética dos edifícios residenciais e não residenciais, públicos e privados existentes, com medidas e metas indicativas para 2030, 2040 e 2050.

Até 2030, a prioridade do ELPRE é melhorar o conforto, atenuar a pobreza energética e aumentar a eficiência energética de 65% dos edifícios residenciais existentes, construídos antes de 1990 e que tenham o menor desempenho energético. A medida será alargada, em 2040, aos restantes edifícios residenciais construídos até 2016, que representarão 100% do parque nacional de edifícios existentes em 2018. Nos edifícios não residenciais, com prioridade para edifícios públicos, a estratégia prevê intervenção em 27% até 2030 e 52% em 2040.

A par das atuais iniciativas de eficiência energética, foi estabelecida a Diretiva de Desempenho Energético em 2010 (2010/31/UE) com a introdução da implementação legal do conceito de edifícios de energia quase zero (nZEB) de modo a incrementar substancialmente a percentagem de edifícios de elevada eficiência energética no parque imobiliário dos Estados-Membros da UE. A legislação nacional em 2019, estabeleceu a obrigação de adequação de necessidades quase nulas de energia para edifícios novos de habitação, comércio e serviço e edifícios ocupados por uma entidade pública.

O PROJECTO IMPROVEMENT SUDOE

A cooperação transacional, marcadamente multidisciplinar, em países do Sul da Europa, com estratégias semelhantes de Ação Climática, conciliou as competências da área de integração e modelação de sistemas energéticos, como a gestão de consumo e de energia em edifícios, a integração de sistemas de energia de base renovável, o desenvolvimento de microrredes inteligentes e de sistemas de monitorização e controlo energético. As principais ações do projeto estão centradas na contribuição do estudo e resultados experimentais de dois casos piloto, desenvolvidos pelas equipas multinacionais, na investigação e desenvolvimento de soluções tecnológicas que sejam aplicáveis na conversão de edifícios públicos de tipologia de serviços em soluções de elevada eficiência energética, tendencialmente de balanço de energia quase nulo (nZEB), tendo em vista a investigação de metodologias replicáveis com requisitos que sejam económica e ambientalmente sustentáveis (Fig. 1).

O trabalho aqui apresentado tem por objetivo a requalificação da Área Piloto do edifício C do LNEG – campus do Lumiar, que constitui o caso de estudo Português integrado nas obrigações contratuais do projeto IMPROVEMENT. Esta requalificação tem por objetivo contribuir para tornar esta área num espaço com necessidades de energia quase nula, i.e. nZEB (*near Zero Energy Building*) através da implementação das medidas passivas e ativas, que fazem parte intrinsecamente de tarefas do projeto financiado pelo programa *Interreg SUDOE*.

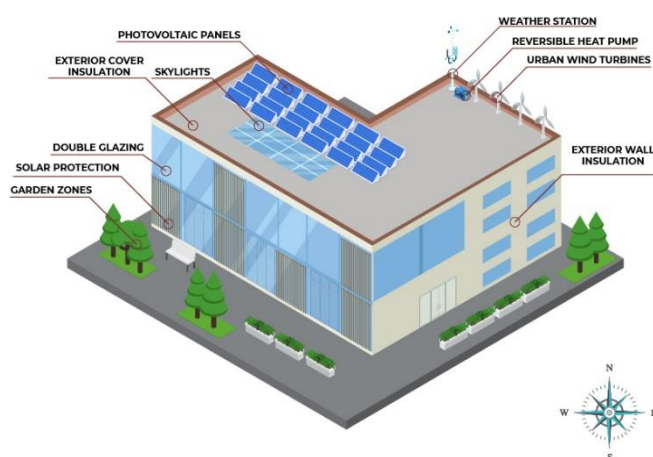


Fig. 1. Desenvolvimento do conceito de edifício nZEB

CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO PORTUGUÊS

Uma das preocupações iniciais foi a mitigação das necessidades de energia, através da implementação de soluções passivas e de medidas que melhorem o conforto térmico sem que este seja influenciado por variações de temperatura do exterior. Das soluções implementadas destacam-se, ao nível da envolvente, envidraçados, ventilação, sombreamento solar bem como a aplicação de materiais de mudança de fase (PCM) minimizando as influências externas. A caracterização térmica da envolvente do edifício, Tabela 1, baseou-se na legislação nacional referente aos edifícios e bibliografia técnica (Pina dos Santos e Matias, 2006).

Tabela 1. Coeficientes de transmissão térmica da envolvente opaca exterior e vãos envidraçados

Parede leve constituída por painéis exteriores e interiores em contraplacado de 8 mm, isolada com 50 mm lã mineral	0,65 W/m ² K
Parede dupla de tijolo, pano exterior de 0,11 m e pano interior de 0,07 m e 50 mm de lã mineral	0,53 W/m ² K
Cobertura com laje de betão maciça (0,15 m), isolada exteriormente com XPS de 40 mm de espessura e revestida externamente com lajetas de betão de 35 mm, teto falso com uma espessura de 100 mm	0,70 W/m ² K
Vidro duplo incolor 4 mm + 4 mm	3,3 W/m ² K
Fator solar do vidro	0,78
Fator solar com dispositivos de sombreamento	0,073

A Área Piloto (Fig. 2) tem uma ocupação total de 170 m², divididos por três gabinetes, sala de reuniões e auditório (90 m²), este muito utilizado para sessões técnicas e apresentações científicas. O projeto pretende a requalificação para a meta nZEB com a implementação de medidas passivas, como o aproveitamento de iluminação natural, incorporação eficiente de iluminação artificial, a utilização de materiais de mudança de fase (PCM) para regulação da inércia térmica das áreas envidraçadas e substituição do teto falso por painéis de elevada eficiência de isolamento térmico e acústico (Fig. 3).

Ainda durante a fase de estudo da Área Piloto foi construído um modelo dinâmico considerando o enquadramento deste espaço no edifício, tendo em conta a arquitetura base o que permitiu consolidar algumas das intervenções efetuadas. Na criação deste modelo foram considerados, além da envolvente opaca exterior, a potência de iluminação instalada, características dos equipamentos existentes, perfis de utilização e ocupação o que permitiu avaliar individualmente o desempenho energético neste caso de estudo (Gonçalo Ferreira, 2021).

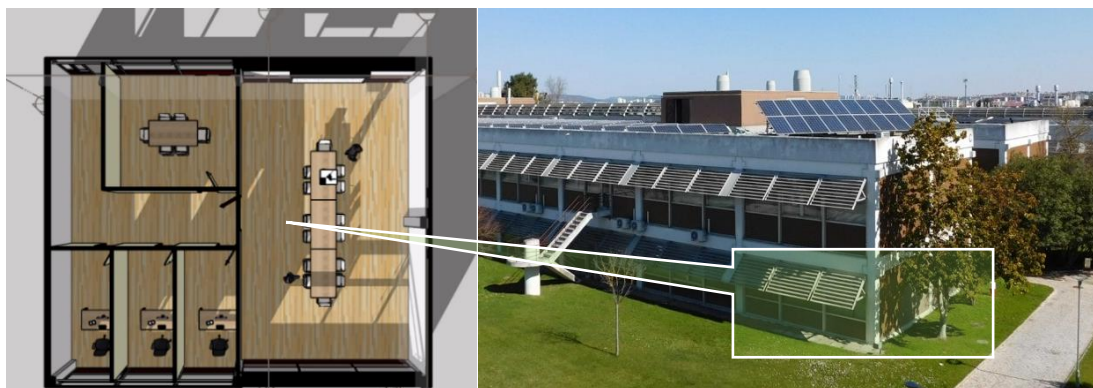


Fig. 2. Área Piloto no Edifício C: Exterior e Interior



Fig. 3. Estratégias de isolamento térmico e acústico do teto falso e de iluminação eficiente e climatização.

Através da descrição apresentada ao longo deste artigo, podemos observar que este projeto inclui diferentes valências de forma integrada quer ao nível térmico, elétrico e climatização/conforto. Um dos principais objetivos deste trabalho como um todo, será tornar o espaço de estudo, denominado Área Piloto, o mais possível autossuficiente em termos energéticos face às suas necessidades diárias.

INFRAESTRUTURA DE MONITORIZAÇÃO E CONTROLO

Foi uma constante ao longo do crescimento desde projeto o desenvolvimento de sistemas de monitorização dedicados como instrumento de medida das diferentes opções técnicas implementadas. Estes sistemas foram ficando desagregados e sem possibilidade de funcionar de forma integrada, como um todo. Foi então decidido desenvolver de raiz uma nova infraestrutura para monitorização integrando capacidades de controlo centrada numa unidade SCADA (*Supervisor Control And Data Acquisition*) de última geração Fig. 4. Esta unidade de supervisão ficou responsável por inquirir as várias infraestruturas existentes, específicas em cada vertente do projeto.

O acesso à informação recolhida bem como a configuração de diversos parâmetros de todas as vertentes do projeto é assegurado através de um conjunto de interfaces utilizando um qualquer programa de consulta de páginas internet em qualquer local. Este fácil acesso deve-se a que aquela unidade SCADA dispõe internamente de um servidor de alojamento gratuito de páginas Web especialmente desenvolvidas com o propósito de oferecer um diálogo fácil com os utilizadores, quer ao nível da visualização de grandezas físicas das várias vertentes, quer ao nível da configuração de parâmetros quer ainda ao nível da definição de períodos e modos de funcionamento.

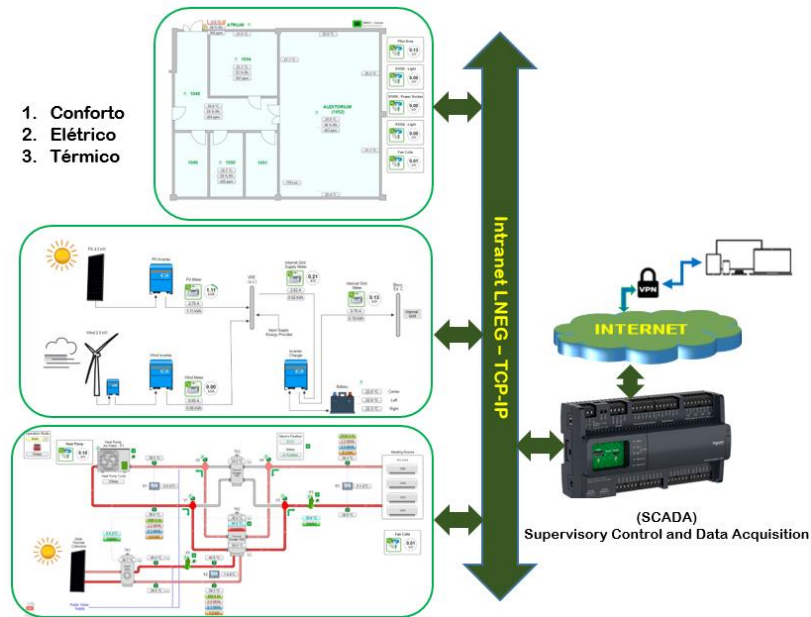


Fig. 4. Sistema integrado de monitorização e controlo

A instalação das diversas valências deste projeto (climatização, produção solar térmico e produção elétrica renovável) foi feita em locais algo distantes entre si devido ao *layout* inicial do edifício. Toda a componente de geração renovável, térmica e elétrica, por questões logísticas e por forma a melhorar o seu funcionamento, ficou instalada na cobertura do edifício. Esta é de fácil acesso e dispõe de um local abrigado para a colocação de variados dispositivos necessários. Todo o equipamento responsável pela conversão (inversores) de energia renovável (fotovoltaica e eólica) produzida em AC 220V/50Hz foi colocado no Laboratório de Sistemas Inteligentes no r/c. Já a denominada Área Piloto encontra-se num outro local do edifício. A solução para garantir comunicações entre os diversos dispositivos instalados em diferentes locais foi recorrer à infraestrutura de rede cablada Ethernet-intranet, TCP-IP já existente. Cada uma das vertentes tem a sua própria rede de comunicações, com protocolos próprios e adequados às exigências dos dispositivos usados, podendo comunicar por TCP-IP através de *gateway*'s dedicados. O elemento central SCADA acede a cada uma destas redes e a cada dispositivo em concreto utilizando igualmente o protocolo TCP-IP.

Para monitorização dos níveis de conforto e qualidade do ar nos vários espaços da Área Piloto foram instalados um conjunto de dispositivos sensor *wireless* (Fig. 5) para medida da temperatura, humidade relativa e níveis de concentração de CO₂. Para caracterização do comportamento térmico da estrutura da Área Piloto foi instalado um conjunto de sensores, igualmente *wireless*, para medida de temperatura na superfície das diversas fachadas. A sensorização das superfícies deu um enorme contributo para o conhecimento do comportamento térmico do espaço e melhor identificar as superfícies mais permissivas a variações de temperatura com o exterior. Esta informação permitiu implementar um conjunto de soluções passivas e melhorar significativamente a estabilidade térmica no interior daquele espaço.

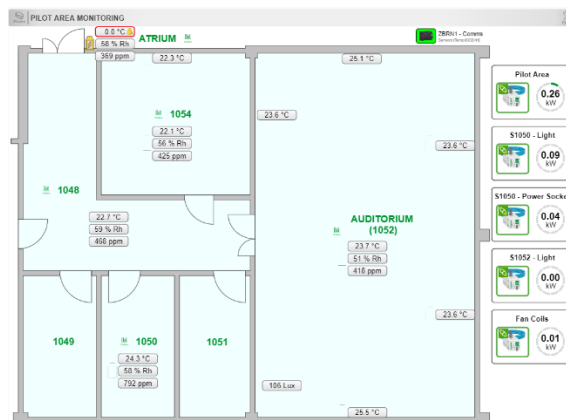


Fig. 5. Sensorização existente na Área Piloto

GESTÃO E PRODUÇÃO DE ENERGIA

Quanto ao fornecimento de energia elétrica a toda a Área Piloto (Fig. 6) optou-se por utilizar um inversor do tipo híbrido incorporando um conjunto de baterias de ácido chumbo de 48V-32kWh passando a existir uma unidade de armazenamento. Nesta fase do projeto toda a energia elétrica produzida (fotovoltaico e eólico) é injetada diretamente na rede pública. O inversor híbrido assegura todo o fornecimento elétrico da Área Piloto igualmente a partir da rede pública. Se esta falhar o fornecimento é assegurado pela energia armazenada, estimada para um dia.



Fig. 6. Sistema de produção e armazenamento de energia

Neste momento está em desenvolvimento uma unidade de comutação que irá permitir direcionar toda a energia produzida para a entrada do inversor híbrido deixando este de ser alimentado pela rede pública e criando uma denominada *Off-Grid* (Fig. 7). Desta forma, toda a energia consumida pela Área Piloto será fornecida diretamente por meios próprios de produção existentes. No caso de a necessidade de consumo ser superior à produção, a unidade de armazenamento será chamada a repor o restante, de forma a garantir o fornecimento necessário. Na situação inversa, em que a produção excede o consumo o excedente será utilizado para recarregar a unidade de armazenamento. Nas situações de energia produzida em excesso face ao consumo desnecessário, existirá uma comutação automática permitindo que todo esse excedente seja entregue à rede pública e eventualmente faturado.

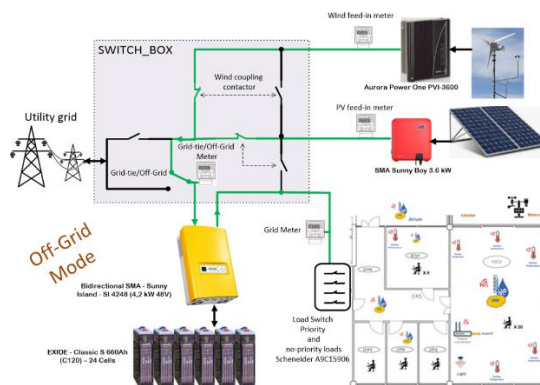


Fig. 7. Infraestrutura elétrica de produção renovável com armazenamento

Como já referido, a Área Piloto foi alvo de várias remodelações entre as quais a da instalação elétrica existente. Foi instalado um novo quadro elétrico concentrando todas as derivações e proteções elétricas necessárias quer ao nível da climatização, tomadas elétricas e iluminação. No interior deste quadro elétrico foi instalado um conjunto de dispositivos que nos dá informação sobre os consumos de energia como sejam: total de energia consumida por todo o espaço, iluminação na sala de maior área, ventilação e ainda consumo num dos gabinetes existentes para melhor conhecer o seu perfil. Toda esta informação de consumo elétrico em diversos pontos, pode ser consultada numa das interfaces alojada na unidade SCADA. O limite máximo de energia elétrica a ser usado por toda a Área Piloto foi fixado nos 16A-3,5 kW isto por limitação do fornecimento máximo do inversor híbrido. A instalação do novo quadro elétrico veio permitir individualizar novos circuitos elétricos na Área Piloto e definir circuitos como prioritários e não prioritários. Quer isto dizer que, no caso do consumo elétrico total na Área Piloto a ser utilizado exceder os limites impostos, algumas das linhas não prioritárias serão desligadas/deslastradas de forma automática. Ao nível das tomadas elétricas instaladas algumas estão identificadas, por cores diferentes, como prioritárias e não prioritárias. É

importante dizer que dispositivos elétricos consumidores, existentes nesta Área Piloto são: computadores de mesa, iluminação LED regulável, projetor de vídeo, laptops para visitantes em reuniões e ventiladores em gabinetes e salas de reuniões.

Está a ser desenvolvido um sistema responsável por um outro tipo de deslastre de cargas, ou seja, em função da produção e quantidade de energia armazenada disponível. Estes circuitos de gestão de energia são uma enorme contribuição para que este espaço seja utilizado de forma racional.

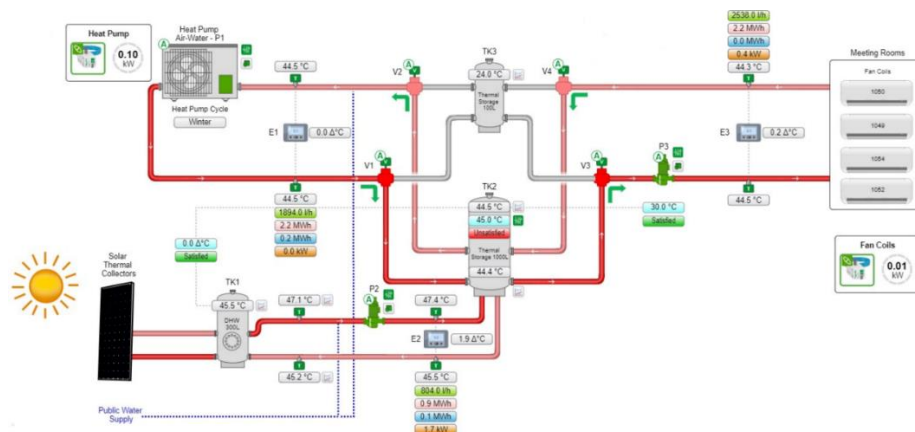


Fig. 8. Geração combinada com armazenamento de frio/calor de base renovável.

A solução encontrada para a climatização de toda a Área Piloto, foi um sistema de geração combinada de frio/calor, baseada em solar térmico para aquecimento, e bomba de calor do tipo *inverter* ar/água de amplo intervalo (4°C a 55°C), Fig. 8. Existe um depósito de 1000L de capacidade, (depósito de inércia) cuja função será armazenar calor ou frio produzido, dependendo da estação do ano em que se encontra a funcionar. Na produção de calor é usado um circuito composto por um sistema solar de circulação forçada, com dois coletores solares com 16 tubos de vácuo com tubos de calor (*heat pipe*) cada, e um acumulador térmico de 300L em circuito fechado. Em situações de fraca contribuição do solar térmico a reposição de calor no depósito de inércia é assegurada pela bomba de calor, bem como na produção de frio especialmente durante o período de verão. Este sistema pode ainda funcionar em modo direto. Quer isto dizer, o circuito de circulação não irá utilizar o depósito de inércia, passando a funcionar em regime direto bomba de calor-ventiladores. A seleção do modo de funcionamento é assegurada por válvulas de controle direcional, comandadas pelo utilizador através do sistema de supervisão. Toda esta vertente térmica tem uma forte componente de monitorização e controlo, permitindo uma avaliação e controlo otimizada de todo o processo. O sistema conta ainda com três unidades de medida de entalpia fornecendo um melhor conhecimento ao nível térmico. Embora seja ainda muito recente a finalização de toda a componente de monitorização e controlo é já possível oferecer alguns dos resultados obtidos. O gráfico da Fig. 9 mostra o comportamento de variáveis para um dia específico em abril de 2022 em que a temperatura do ar exterior esteve entre os 15 e 18 °C existindo necessidade de climatização na Área Piloto. Podemos observar a contribuição solar térmica na reposição de calor do depósito de inércia. Em relação aos consumos de energia elétrica registados, podemos observar que, a contribuição fotovoltaica satisfaz as necessidades de consumo elétrico de todo espaço.

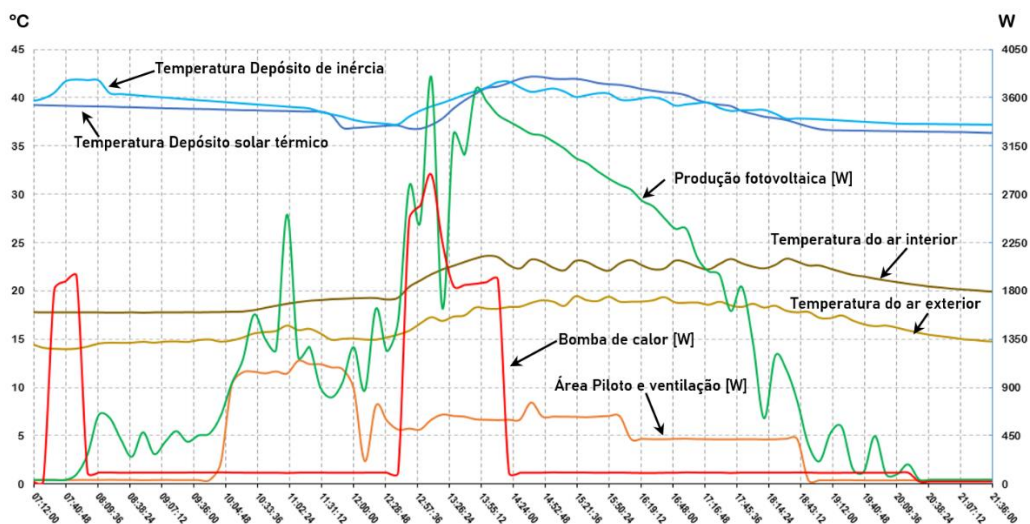


Fig. 9. Comportamento térmico e elétrico.

CONCLUSÕES

Apresentou-se o caso de estudo português do projeto IMPROVEMENT financiado pelo programa *Interreg* SUDOIE, envolvendo o LNEG e IST em instalações localizadas no campus do Lumiar-Lisboa, construídas nos anos oitenta. O trabalho aqui apresentado permitiu demonstrar uma enorme mais valia de requalificação de um espaço que apresentava inicialmente diversas carências quer ao nível térmico, elétrico e de conforto. Esta intervenção integrou diversas valências, ao nível da produção de energia elétrica e térmica de origem renovável para autoconsumo da Área Piloto. Devido ao projeto IMPROVEMENT SUDOIE, dispomos de uma infraestrutura que permite demonstrar e continuar a implementar novas soluções em edifícios públicos na integração combinada de refrigeração, aquecimento e armazenamento de energia de base renovável em edifício público.

AGRADECIMENTOS

O projeto SUDOIE IMPROVEMENT (SOE3_P3_E0901) é cofinanciado pelo Programa *Interreg* SUDOIE e o Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), com um orçamento total previsto de 2,5 milhões de euros (financiado a 75% pela Comissão Europeia) com finalização prevista no início de 2023.

REFERÊNCIAS

Estanqueiro, A... [et.al.] - Conversão de edifícios existentes em nZEB através da integração de energias renováveis, de microredes e de soluções de eficiência energética. In: CIES2020: As Energias Renováveis na Transição Energética: Livro de Comunicações do XVII Congresso Ibérico e XIII Congresso Ibero-americano de Energia Solar. Helder Gonçalves, Manuel Romero (Ed.). Lisboa, Portugal: LNEG, 3-5 novembro, 2020, p. 987-995. <http://dx.doi.org/10.34637/cies.2020.2.1117>

Aelenei, L., Lollini, R., Gonçalves, H., Aelenei, D., Noguchi, M., Donn, M., Garde, F. (2011), Passive Cooling Approaches in Net Zero Energy Solar Buildings: Lessons Learned from Demonstration. Proceedings of CISBAT 2011, CISBAT 2011 Conference, Lausanne

Bonifácio, P., S. Viana, L. Rodrigues e A. Estanqueiro. Projeto REIVE - Relatório da Tarefa 3. Teste e Otimização de Ferramentas de Análise da Qualidade de Energia e Distorção Harmónica. Quantificação dos Impactos da Integração de Microgeração e Veículos Elétricos num caso Concreto de Rede de Distribuição de BT. LNEG, abril de 2012, pp43

Pina dos Santos C.A. e Matias L. (2006) Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios, Versão actualizada ITE 50, LNEG Portuguese (European Union) National energy and climate plans (NECPs), available from https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/national-energy-climate-plans_en#final-necps (last assessed 11.09.2020) Portugal National Energy and Climate Plan 2021-2030 (NECP 2030, PNEC 2030 in Port.). Available at https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/pt_final_necp_main_en.pdf (last assessed 11.09.2020).

Gonçalo Ferreira (2021) Soluções integradas de eficiência energética, energia renovável e micro-rede num edifício público na perspetiva NZEB. Dissertação de Mestrado Integrado, Engenharia da Energia e do Ambiente. Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa. <http://hdl.handle.net/10451/51678>