

## ANEXO TÉCNICO

**SIID – I&D Empresarial – Operações em Copromoção**

**Código do Aviso: Mr-2023-7**

### PVBoost

Fotovoltaico de interior para alimentar dispositivos eletrónicos IoT

## Contents

Acrónimo e Título do Projeto: PVBoost	3
Síntese	3
1. Descrição do projeto	4
1.1. Enquadramento	4
1.2. Qualidade	12
2. Capacidade de Execução	18
2.1. Apresentação do consórcio	18
2.2. Identificação das Atividades	22
2.3. Descrição das Atividades	22
2.4. Quadro resumo dos entregáveis (deliverables)	32
2.5. Quadro resumo dos marcos (milestones)	33
2.6. Descrição dos riscos críticos para a implementação do Projeto	34
2.7. Resumo da dedicação dos Recursos Humanos	35
2.8. Gestão do projeto	35
3. Impacto	35
3.1. Impacto económico e/ou empresarial	35
3.2. Plano de Comunicação, disseminação e valorização dos resultados	38
4. Adequação da operação aos objetivos e medidas de política pública	39

### Síntese

No âmbito dos edifícios inteligentes do futuro, e com o advento da Internet of Things (IoT), torna-se necessário o desenvolvimento de soluções técnicas que permitam prolongar o tempo de vida das pilhas presentes nos aparelhos eletrónicos sem fios usados no interior dos edifícios. Assim, o projeto PVBoost visa o desenvolvimento de módulos fotovoltaicos de interior (iPV) de grande eficiência, a partir de células solares sensibilizadas com corante (DSSC) e células solares perovskita (PSC), para alimentação das pilhas de um variado conjunto de aparelhos eletrónicos de baixa tensão (1,5–9,0V), usados no interior de edifícios.

As células fotovoltaicas de terceira geração (DSCs e PSCs) têm elevadas eficiência na conversão de energia luminosa em elétrica, com um valor máximo de >40% em condições de luz interior (em pequenos dispositivos < 1 cm<sup>2</sup>). As células de terceira geração têm quatro grandes vantagens em aplicações de luz interior: a) são a tecnologia atual mais eficiente – máxima eficiência de conversão de energia em condições de luz interior; b) são esteticamente muito atraentes, podendo ter diversas cores; e c) têm baixo custo. Na vanguarda destes desenvolvimentos, estão a aparecer, um pouco por todo o mundo, empresas a propor módulos de DSSC e PSC para aplicações de interior. No entanto, as DSSC utilizam um eletrólito líquido que limita a sua estabilidade e as PSC sofrem de degradação em contacto com humidade e oxigénio.

O projeto PVBoost beneficia de duas vantagens competitivas únicas, desenvolvidas pelo parceiro FEUP: a) um processo único de selagem dos substratos de vidro das células/módulos, em que a selagem é feita a baixa temperatura, assistida a laser e usando um cordão de vidro e; b) células solares DSSC laboratoriais com a mais alta eficiência reportada, usando uma configuração monolítica, que é a configuração mais barata e assim mais apropriada a ser comercializada. As células DSSC e PSC encapsuladas a vidro têm um tempo de vida útil de 20 a 30 anos no interior.

Tirando partido do potencial dos parceiros e das suas competências únicas, o projeto PVBoost tem como objetivos: a) o desenvolvimento e produção de módulos iPV para diminuir, e se possível eliminar, a necessidade do uso e de substituição de baterias (por perda de carga) em equipamentos eletrónicos de baixa potência; b) desenvolver uma nova tecnologia de selagem a vidro usando substratos de vidro com <1 mm, olhando para o mercado dos comandos à distância e mesmo dos telemóveis; c) desenvolver e produzir um conjunto de soluções que integram módulos iPV em equipamentos eletrónicos, tendo o maior cuidado com a parte estética; estes equipamentos podem ser relógios de parede, interruptores elétricos sem fios, balanças de quarto de banho, relógios despertador, alarmes de incêndio, entre outros. Serão estabelecidos protocolos de colaboração entre os fornecedores dos equipamentos de base para a introdução das iPV e a sua utilização será avaliada em hotéis.

<b>Entidade líder do projeto:</b>	A400 – Projetistas e Consultores de Engenharia, Lda.
-----------------------------------	--

<b>1 - Total de copromotores (1+1):</b>	3
<b>2 - Empresas</b>	2
<b>3 - Entidades Não Empresariais do Sistema de I&amp;I</b>	1
<b>4 - Parceiros:</b>	0

<b>Data de início:</b>	01-01-2025
<b>Data de conclusão:</b>	31-12-2027

Duração (meses):	36
Investimento Elegível:	904 748,48 €

### Lista de copromotores

N.º	Designação Social da Entidade	Abreviatura	Tipo de Entidade	Entidade NE do SI&I	Público/ Privado
1	A400 – Projetistas e Consultores	A400	Empresa	Não	Privado
2	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto	FEUP	Entidades Não Empresariais do Sistema de I&I	Sim	Público
3	Azure Photon	Azure Photon	Empresa	Não	Privado

## 1. Descrição do projeto

### 1.1. Enquadramento

Com o objetivo de alcançar a neutralidade carbónica em 2050, Portugal elaborou o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050, (RNC2050<sup>1</sup>). De acordo com o RNC2050, alcançar a neutralidade carbónica em Portugal implica a redução das emissões de gases com efeito de estufa entre 85 % e 90 % até 2050, e a compensação das restantes emissões pela utilização do solo e das florestas. Assim, atingir a neutralidade carbónica implica a total descarbonização do sistema eletroprodutor e da mobilidade urbana, e um uso mais eficiente da energia e dos recursos, com base em fontes renováveis e em modelos de economia circular. Estes são objetivos muito ambiciosos, mas necessários para retardar o aquecimento global do planeta. Tendo em consideração que os edifícios em Portugal são responsáveis por aprox. 30 % das emissões de CO<sub>2</sub><sup>2</sup>, será necessário torná-los energeticamente mais eficientes. A diretiva europeia 2018/844/EU<sup>3</sup>, transposta para legislação nacional, Portaria n.º 98/2019, Ambiente e Transição Energética; introduz o conceito e o objetivo de todas as novas construções serem edifícios de desempenho energético quase nulo (NZEB - *Nearly Zero Energy Buildings*), onde as necessidades energéticas e de aquecimento são supridas localmente em plenos 50 % e 75 %, respetivamente. Em Portugal, entre 2000 e 2021, o consumo energético em edifícios aumentou 10 %, apesar de o consumo total de energia ter baixado. Melhorar a eficiência energética dos edifícios é altamente necessária, permitindo a descarbonização do sector e a autonomia energética. Edifícios com desempenho energético nulo (*Zero Energy Buildings*, ZEBs)<sup>4</sup>, i.e., com um consumo global de energia anual nulo, vão contribuir significativamente para a criação das cidades inteligentes do futuro, tal como previsto pela UE e promovido pelas diretivas europeias. Os edifícios ZEBs são concebidos para ter baixos consumos energéticos e produzirem localmente toda a energia necessária através da utilização de fontes renováveis e gestão energética autónoma<sup>5</sup>.

A gestão energética eficiente e autónoma de edifícios exige a implementação de algoritmos baseados em informações produzidas por sensores. Os sensores são normalmente associados a módulos de comunicação sem fios, podendo ser implementados diferentes protocolos de comunicação de acordo com as necessidades: a) rádio-frequência (RF) 443MHz, para menores consumos energéticos; b) KNX, para compatibilidade com os protocolos de domótica; ou c)

<sup>1</sup> Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050, setembro 2019, [URL](#)

<sup>2</sup> Eficiência Energética, Direção Geral de Energia e Geologia, [URL](#)

<sup>3</sup> Diretiva 2018/844, 30 maio 2018, [URL](#)

<sup>4</sup> Zangheri, P. et al., 2021, [DOI](#)

<sup>5</sup> Transition to Sustainable Buildings, IEA, 2013, [URL](#)

comunicação sem fios de alta fidelidade (*Wi-Fi*) para maior compatibilidade com outros dispositivos de uso corrente. Usando o modo de repouso (*sleep mode*), é possível reduzir o uso de energia para valores menores que 10  $\mu$ A (20 mA em comunicação). Com o crescimento da Internet das Coisas (*Internet of Things*, IoT)<sup>6</sup>, muitos aparelhos elétricos, para além de sensores (de presença, temperatura/humidade, de fumo, etc.), tais como equipamentos de iluminação, de comunicação (telefones, telemóveis, etc.), de entretenimento (TVs, leitores de DVD, etc.), de escritório (computadores, impressoras, etc.) estarão permanentemente ligados à Internet, sendo capazes de serem identificados na rede e de comunicar entre si e com o meio exterior<sup>7</sup>. Este facto está a provocar uma mudança no modo como é efetuada a gestão energética, de espaços, e de equipamentos em edifícios públicos, residenciais, escritórios e industriais. Assim, para que um elevado número de dispositivos eletrónicos seja integrado na vida quotidiana e em edifícios é necessária uma fonte de energia fidedigna que garanta o funcionamento sem interrupções. A ligação à rede elétrica implica a colocação de cabos elétricos, operação difícil e dispendiosa; a solução mais simples é a integração de baterias nesses dispositivos.

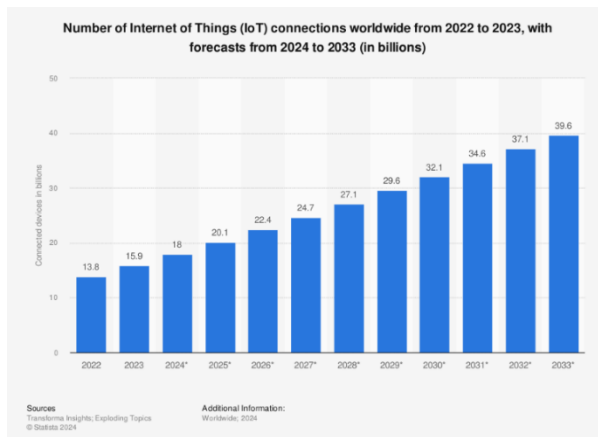


Figura 1-Projeções relativas ao número de dispositivos IoT<sup>12</sup>.

O uso de baterias apresenta dois grandes desafios: a enorme quantidade de baterias necessárias para alimentar o crescente número de dispositivos eletrónicos, e a necessidade de serem recicladas após o seu curto tempo de vida. Prevê-se que o número de dispositivos IoT, quase duplique nos próximos anos de 15,9 mil milhões de dispositivos instalados em 2023 para mais de 32,1 mil milhões em 2030 (Figura 1)<sup>8</sup>, atingindo um valor de mercado de 305,9 mil milhões USD<sup>9</sup>. Embora isoladamente um dispositivo consuma uma quantidade mínima de energia elétrica, a totalidade destes dispositivos irá requerer uma quantidade exorbitante de energia<sup>10</sup>. A eliminação e reciclagem das baterias tem levantado preocupações. As baterias contêm metais tóxicos, tais como níquel, cádmio, zinco, chumbo e lítio, os quais têm efeitos prejudiciais no ambiente e na saúde humana; vários estudos reportam que alguns países não estão a reciclar devidamente as suas baterias, o que se está a repercutir em efeitos negativos no ambiente<sup>11</sup>. A recolha de baterias portáteis primárias e recarregáveis na Europa é mandatada pela diretiva 2006/66/EC, a qual obriga os Estados Membros a atingir uma taxa de recolha de, pelo menos, 45 % a partir de 2016<sup>14</sup>. A Error! Reference source not found. apresenta a evolução na recolha e venda de baterias portáteis e acumuladores na UE entre 2012 e 2021. Neste período, as vendas aumentaram 30 %, enquanto as recolhas aumentaram 42 %. No entanto, mais de metade das baterias portáteis vendidas na UE não foram recolhidas para reciclagem, tendo sido eliminadas como parte do lixo municipal indiferenciado. A situação em Portugal é ainda mais preocupante,

<sup>6</sup> Nord, J. H. et. al., Expert Systems with Applications 2019, 133, 97-108. [DOI](#)

<sup>7</sup> Kylili, A et. al. Sustainable Cities and Society, 2015, 15, 86-95. [DOI](#)

<sup>8</sup> Statista – Number of IoT connections worldwide 2022-2033, [URL](#)

<sup>9</sup> Low power IoT Market size and Projections, julho 2024, [URL](#)

<sup>10</sup> Global Portable Battery Market Overview, 2024, [URL](#)

<sup>11</sup> The collection of waste portable batteries in Europe, agosto 2013, [URL](#)

uma vez que em 2021, cerca de 85 % das baterias descartadas não foram recolhidas para reciclagem<sup>12</sup>. Esta problemática é alarmante, pois com o aumento do número de dispositivos IoT, a substituição das suas baterias torna-se mais frequente e com efeitos negativos no meio ambiente. Isto é ainda mais relevante para dispositivos onde não é possível substituir limitando o tempo de vida destes dispositivos e aumentando o lixo eletrónico.

A IoT do futuro não poderá depender apenas de baterias e da energia elétrica tradicional fornecida por cabos. Com o crescimento exponencial do número de dispositivos IoT aumentará também o consumo de energia, tornando imperativo desenvolver fontes de energia alternativas e sustentáveis para o seu carregamento. **A solução passa por incorporar nestes dispositivos uma fonte adicional de energia que permita reduzir o consumo a partir da bateria interna, prolongando o tempo de vida da bateria e dos dispositivos, e tornar a manutenção menos frequente e dispendiosa.** Esta fonte adicional de energia funcionará como carregador para a bateria secundária quando os dispositivos estejam em modo de repouso.

Mas qual poderá ser a fonte desta energia adicional? A fonte adicional deverá aproveitar a energia ambiente, disponível no local onde o dispositivo estiver instalado, em energia elétrica adicional; este processo é designado por captação de energia ambiente<sup>13,14</sup>. Alguns exemplos incluem a colocação de painéis fotovoltaicos em mobiliário urbano, e o uso de dínamos em bicicletas e em relógios de pulso. É fundamental desenvolver uma tecnologia eficiente, estável e de baixo custo, que possa ser facilmente integrada em diversos dispositivos eletrónicos.

**Fontes de energia.** As fontes de energia disponíveis no interior de edifícios são as energias luminosa, mecânica, térmica e de radiofrequências (RF). As propriedades mais relevantes para cada uma destas fontes de energia ambiente são apresentadas na **Tabela 1**.

**Tabela 1 - Fontes de energia ambiente e correspondentes propriedades mais relevantes<sup>18</sup>.**

Fonte de Energia	Características da Fonte	Eficiência de conversão / %	Potência Produzida	Tecnologia	Vantagens	Desvantagens
Energia Luminosa	Interior: 0.1-1.0 mW·cm <sup>-2</sup>	~ 20-30	50-400 μW·cm <sup>-2</sup>	Fotovoltaica	Tecnologia bem estabelecida, e de simples instalação	Necessidade de ser colocada em local que receba luz incidente
	Exterior: 100 mW·cm <sup>-2</sup>	~ 10-17	10-17 mW·cm <sup>-2</sup>			
Energia RF	900 MHz: 0.3 μW·cm <sup>-2</sup>	~ 50	~ 0.1 μW·cm <sup>-2</sup>	Geradores RF	Grande disponibilidade de fontes RF	Produção de potências muito baixas
	1800MHz: 0.1 μW·cm <sup>-2</sup>					
Energia Térmica	Máquina: 100 mW·cm <sup>-2</sup>	~ 3	1-10 mW·cm <sup>-2</sup>	Geradores termoelétricos e piroelétricos	Capacidade de produzir potências na gama do mW	Acesso difícil a fonte de calor permanente durante todo o ano
Energia Mecânica	Humana: 0.5 m @ 1 Hz 1 s <sup>-2</sup> @ 50 Hz	Dependente da fonte	30 mW·cm <sup>-2</sup>	Geradores piezoelétrico, eletromagnético e triboelétrico	Instalação simples	Requer fontes de energia dinâmica
	Máquina: 1 m @ 5 Hz 10 s <sup>-2</sup> @ 1 kHz		100 μW·cm <sup>-2</sup>			

De acordo com a **Tabela 1**, a fonte de energia térmica produz a maior potência. No entanto, geradores termoelétricos e piroelétricos necessitam de fontes de calor apropriadas, as quais são por natureza sazonais (radiadores de calor, superfícies quentes/frias, etc.). Embora a energia luminosa tenha uma densidade de potência relativamente baixa, é a fonte de energia mais abundante, presente em todos os ambientes interiores. A intensidade da luz interior é cerca de 100 vezes menor que a intensidade da luz solar exterior, o que reduz consideravelmente a potência produzida para 50-400 μW·cm<sup>-2</sup>; o suficiente para carregar vários dispositivos IoT de, tais como os que apresentam tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID), tecnologia

<sup>12</sup> Sales and collection of portable batteries and accumulators, junho 2024, [URL](#)

<sup>13</sup> Matiko et. al., Measurement Science and Technology 2014, 25, [DOI](#)

<sup>14</sup> Tang, et. al., Sensors 2018, 18 (12), 4113, [DOI](#)

de radiofrequência sem fios de longo alcance (LoRa), *Wi-Fi* passivo, *Bluetooth* de baixa energia (*Low-energy Bluetooth*, BLE), Topologia de Rede Adaptativa (*Adaptive Network Topology*, ANT) e tecnologia *ZigBee*. O consumo de energia típico destes dispositivos *wireless* é apresentado na Figura 3<sup>15</sup>.

#### Tecnologia mais eficaz na conversão de luz interior em eletricidade.

Atualmente, os painéis de silício amorfo (a-Si) e cristalino (c-Si) compreendem cerca de 90 % do mercado fotovoltaico<sup>16</sup>, predominante para aplicações exteriores. Os painéis de silício cristalino apresentam eficiências de conversão de energia (PCE) entre 16-22 %, sob iluminação solar (1-sol, AM1.5G)<sup>20</sup>. Na Figura 4a são apresentados os espectros de emissão solar (AM1.5G) e de lâmpadas LED e fluorescentes (1000 lx) usadas em interiores. As lâmpadas de uso interior possuem um espectro de emissão mais estreito (comprimentos de onda 400-750 nm) e de menor intensidade que o espectro solar. O limite Shockley-Queisser (limite S-Q) estima a eficiência máxima obtida por uma PV em função do seu hiato energético e do espectro de luz incidente. A eficiência máxima estimada para uma PV sob iluminação de 1-sol (AM1.5G) é aprox. 30 %, para hiatos energéticos entre 1.3 eV e 1.5 eV. Sob iluminação de lâmpadas LED e fluorescente (1000 lx), a eficiência máxima que uma PV poderá alcançar é 57 % e 56 %, para hiato energéticos de 1.96 eV e 1.89 eV, respetivamente (Figura 4b)<sup>19</sup>.

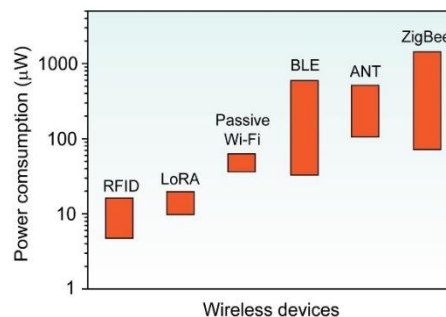


Figura 3 - Consumo de energia de dispositivos IoT; adaptado de<sup>19</sup>.

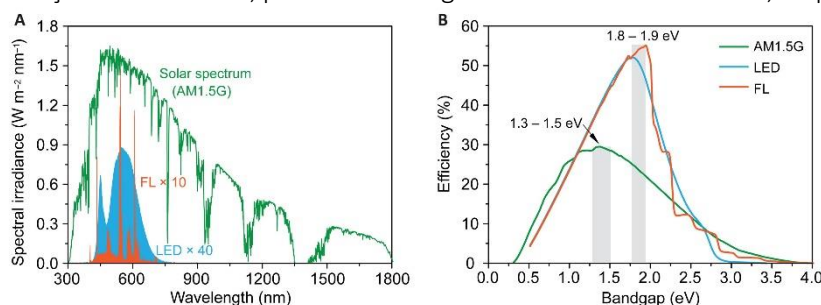


Figura 2 - a) Espectro de emissão solar (AM1.5G), espectro de lâmpadas LED e fluorescente (1000 lx); b) Limite S-Q para PVs sob iluminação de 1-sol (AM1.5G), e 1000 lx (LED e fluorescente). Adaptado de<sup>19</sup>.

Com um hiato energético de 1.1 eV<sup>17</sup>, os painéis de silício cristalino são a tecnologia fotovoltaica mais eficiente para aplicações exteriores. No entanto, não é adequado para uso interior, com PCEs inferiores a 6 % sob luz ambiente de 1000 lx. Células de silício amorfo com um hiato energético de ca. 1.7 eV, permite obter PCEs de ca. 20 % sob 1000 lx<sup>21</sup>. Apesar das eficiências superiores, as células de silício amorfo não conseguem competir com as tecnologias fotovoltaicas emergentes, tais como as células solares sensibilizadas por corante (DSSCs), as células solares orgânicas (OSCs), e as células solares de perovskita (PSCs), que apresentam PCEs de 35.6 %<sup>18</sup>, 36.5 %<sup>19</sup>, e 42.1 %<sup>20</sup>, respetivamente sob luz interior (1000 lx) (Tabela 2).

Tabela 2- Desempenho fotovoltaico de diferentes PVs (área < 1 cm²) sob luz ambiente.

PV	Intensidade de luz	$V_{oc}/V$	$J_{sc}/\mu A \cdot cm^{-2}$	FF	PCE /%
c-Si <sup>21</sup>	1000 lx, LED	0.40	138.0	0.35	5.6

<sup>15</sup> Yan et. al., Science Advances 8 (49), 9923. [DOI](#)

<sup>16</sup> Oni et. al., Energy Reports 2024, 11, 3345-3366. [DOI](#)

<sup>17</sup> Srivishnu et.al., Solar Energy 2023, 264, 112057. [DOI](#)

<sup>18</sup> Meethal et al., Journal of Materials Chemistry A 2024, 12 (2). [DOI](#)

<sup>19</sup> Kim et. al., Nano Energy 2023, 112, 108429. [DOI](#)

<sup>20</sup> Li et. al., Advanced Materials 2024, 36 (1), 2306870. [DOI](#)



a-Si <sup>21</sup>	1000 lx, LED	0.67	118.0	0.68	21.0
DSC <sup>22</sup>	1000 lx, CFL	0.91	134.9	0.83	35.6
OSC <sup>23</sup>	1000 lx, LED	0.72	151.4	0.77	36.5
PSC <sup>24</sup>	1000 lx, LED	0.98	144	0.83	42.1

V<sub>oc</sub>: potencial de circuito aberto; J<sub>sc</sub>: corrente de curto-circuito; CFL: lâmpada fluorescente compacta; LED: diodo emissor de luz

Durante o PVBoost espera-se desenvolver duas tecnologias de fotovoltaicos interiores (*Indoor photovoltaics*, iPV) para carregamento de dispositivos eletrónicos de baixo consumo energético: PSCs e DSSCs. Para além do vasto conhecimento adquirido ao longo de anos de investigação pela FEUP, a escolha destas tecnologias recai pelo potencial mais próximo de 1V (tabela 2), que minimiza o número de células a ligar em serie na obtenção de módulos fotovoltaicos com 3-5 V, e superior fator de preenchimento (FF), que indica menores perdas por recombinação durante o funcionamento destas células PV.

### Células solares sensibilizadas por corante (DSSCs)

M. Grätzel (Doutor Honoris Causa pela Universidade do Porto, 2022<sup>21</sup>) foi pioneiro no desenvolvimento das células solares sensibilizadas por corante (DSSCs) ao provar, em 1991, a importância de uma camada mesoporosa de semiconductor para proporcionar uma área superficial elevada para adsorção de corante. Este avanço foi a chave para o desenvolvimento desta tecnologia, a qual imita o processo de fotossíntese, devido à combinação de sistemas moleculares e nanopartículas. Uma DSSC convencional consiste num dispositivo de junção líquida, no qual o fotoánodo e o contra-eléctrodo (cátodo) são depositados em substratos de vidro condutor, com um óxido condutor transparente (*transparent conducting oxide*, TCO). O fotoánodo é tipicamente uma camada mesoporosa de TiO<sub>2</sub>, na qual se encontram adsorvidas moléculas de corante; o contra-eléctrodo é composto por um material com propriedades condutoras e catalíticas, nomeadamente platina, carbono ou polímeros. Os dois eléctrodos são posteriormente unidos usando um termoplástico, na cavidade de ≈20 µm é injectado o eletrólito. O eletrólito é composto por um par redox: I<sub>3</sub><sup>-</sup>/I<sup>-</sup>, Co(III)/Co(II), Cu(II)/Cu(I) responsável pela transferência da de cargas entre o fotánodo e o contra-eléctrodo (Figura 5).

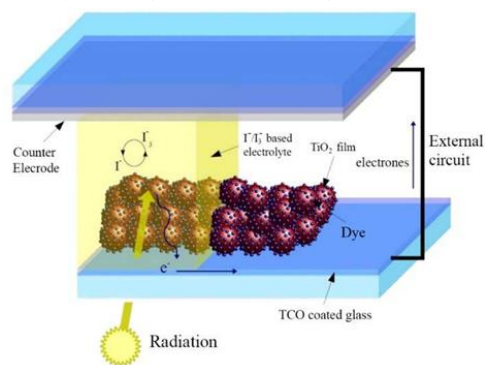


Figura 4- Representação esquemática da estrutura e princípio de funcionamento das DSSCs.

Uma das desvantagens das DSSCs convencionais relaciona-se com o facto de possuírem um eletrólito em estado líquido. A selagem destas PVs é de extrema importância, para evitar a fuga do eletrólito que para o funcionamento das células. Esta limitação pode ser evitada selando hermeticamente os dispositivos ou substituindo o eletrólito líquido por uma camada transportadora de lacunas (*hole transport material*, HTM) de estado sólido. DSSCs de estado sólido (ssDSSCs) usualmente utilizam moléculas orgânicas de 2,2',7,7'-Tetrakis(N,N-di-p-methoxyphenylamine)9,9'-spirobifluorene (Spiro-OMeTAD) como HTM. O passo crítico nas ssDSSCs é a infiltração do HTM na camada mesoporosa de TiO<sub>2</sub>. Por esse motivo, tanto a espessura da camada de

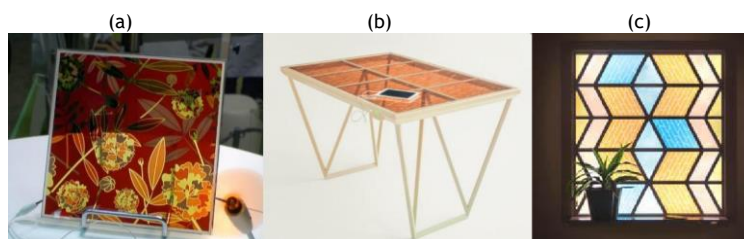


Figura 5- Exemplos de DSSCs com diferentes designs para aplicações interiores: a) lanterna (Sony); b) mesa e c) vitral (Marjan van Aubel).

<sup>21</sup> Michael Grätzel é o 101.º Doutor Honoris Causa da U.Porto, [URL](#)



TiO<sub>2</sub> como do HTM são otimizadas para minimizar as resistências em série, além de que o contra-eléctrodo é usualmente composto por metais nobres como ouro<sup>22</sup>. DSSCs caracterizam-se por: i) processo de fabrico simples, de baixo custo e sem recurso a materiais tóxicos; ii) estética apelativa e versátil, podendo apresentar diferentes cores e padrões, e serem semi-transparentes; iii) flexibilidade de *design*, com a possibilidade de serem produzidas em substratos rígidos ou flexíveis. Estas características tornam as DSSCs atrativas para serem integradas esteticamente em espaços interiores de escritórios e habitações; alguns protótipos comerciais disponíveis são apresentados na Figura 6.

Em 30 anos, a eficiência das DSSCs aumentou de 7.1 %<sup>23</sup> para 15.2 %<sup>24</sup> sob 1-sol (AM1.5G). A melhoria do PCE das DSSCs sob iluminação solar está condicionada pela incompatibilidade do espectro de absorção dos seus corantes e o espectro solar. No entanto, perante iluminação de luz interiores, esta limitação não se verifica, porque os espectros de emissão de lâmpadas de interiores coincidem com o espectro de absorção dos corantes. PCEs de 30 % são frequentemente reportados sob iluminação de 1000 lx, sendo o recorde atualmente de 35.6 %<sup>22</sup>.

### Células solares de perovskita (PSCs)

Células solares perovskita (PSCs) foram reportadas pela primeira em 2009 por Miyasaka baseada na estrutura das DSSC, onde o corante foi substituído pelo material perovskita<sup>25</sup>. Perovskita é um material cristalino de estrutura química ABX<sub>3</sub>, em que o catião B está coordenado com o anião X em coordenação octaédrica, enquanto o catião A ocupa uma cavidade octaédrica cúbica – Figura 7<sup>26</sup>. PSCs são formadas por várias camadas finas de componentes funcionais: (i) substrato de vidro revestido com

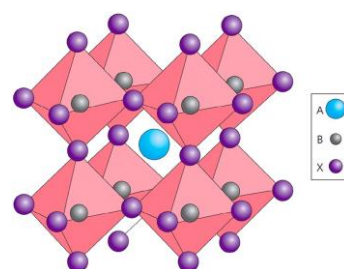


Figura 6- Estrutura cristalina típica da perovskita. Reimpresso de<sup>31</sup>.

TCO; (ii) uma camada compacta de um semiconductor do tipo-n que funciona como camada de transporte de electrões (ETL); (iii) uma camada mesoporosa de um semiconductor do tipo-n (ETL); (iv) uma camada de perovskita que absorve a luz incidente; (v) um semiconductor do tipo-p (HTM) como camada de transporte de lacunas (HTL); e (vi) contacto posterior condutor. As PSCs possuem várias estruturas conforme a ordem das várias camadas funcionais e são categorizadas em: i) Mesoporosas: estrutura e operação semelhante às DSSCs onde a perovskita é depositada e infiltrada na camada mesoporosa de TiO<sub>2</sub>; ii) Planar: nesta estrutura não são utilizadas camadas mesoporosas; a camada de perovskita é depositada entre a camada compacta de ETL e HTL; iii) Mesoporosa tripla: a camada de perovskita é infiltrada na estrutura de 3 camadas mesoporosas constituída por TiO<sub>2</sub> (ETL), material isolador (ZrO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>) e contacto de carbono. As estruturas

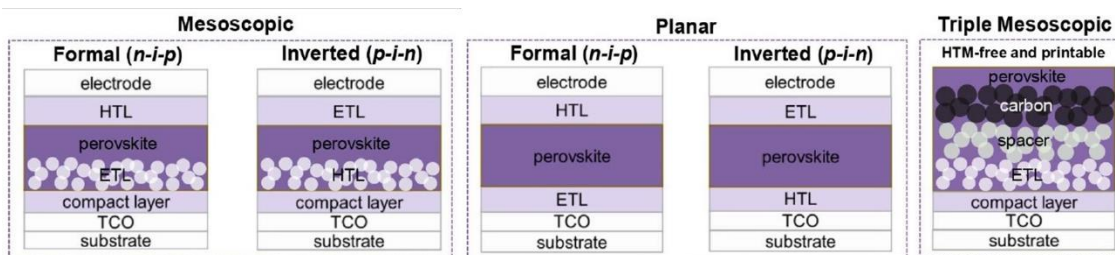


Figura 7 - Estruturas das células solares de perovskita. Reimpresso de<sup>32</sup>.

<sup>22</sup> Benesperi et. al.; Journal of Materials Chemistry C, 2018, 6 (44), 11903-11942, [DOI](#)

<sup>23</sup> O'Regan, et. al. Nature 1991, 353 (6346), 737-740. [DOI](#)

<sup>24</sup> Ren et. al, Nature 2023, 613 (7942), 60-65. [DOI](#)

<sup>25</sup> Kojima et. al. Journal of the American Chemical Society 2009, 131 (17), 6050-6051, [DOI](#)

<sup>26</sup> Green et. al., Nature Photonics 2014, 8 (7), 506-514. [DOI](#)

Mesoporosas e Planar são ainda divididas nas categorias de convencional (n-i-p) e invertida (p-i-n), consoante a sequência de deposição das camadas HTL e ETL - **Figura 8**<sup>27</sup>. Em aplicações fotovoltaicas exteriores, a perovskita mais usada é o iodeto de metilamónio e chumbo (MAPbI<sub>3</sub>), com espectro de absorção entre ultravioleta e 780 nm e um hiato energético de 1.6 eV. No entanto, este hiato energético não é adequado para uso com iluminação interior. Alteração da composição química da perovskita tem sido investigada para obter hiato energéticos adequados para interiores (iPV) como (FAPbI<sub>3</sub>)<sub>0.97</sub>(MAPbBr<sub>3</sub>)<sub>0.03</sub> ou Cs<sub>0.05</sub>FA<sub>0.70</sub>MA<sub>0.25</sub>PbI<sub>2.25</sub>Br<sub>0.75</sub><sup>28</sup>.

Entre as várias configurações de PSCs, as n-i-p são as mais eficientes sob luz exterior de 1-sol (AM1.5G), com PCE > 25 % e apresentam PCE > 40 % sob 1000lx<sup>29</sup>. A sua principal desvantagem é a elevada histerese, que impede as PSCs de ter um ponto de potência máxima estável durante operação. Através da passivação das interfaces e da utilização de ETLs adequados, como o SnO<sub>2</sub>, o efeito da histerese pode ser reduzido. PSCs com estrutura p-i-n apresentam menor histerese e eficiências comparáveis à estrutura n-i-p, com PCE de 43 % sob luz interior<sup>30</sup>. A estrutura mesoporosa tripla é menos reportada para aplicações de iPV; foi reportado um PCE de 11,2 % sob iluminação de 1000 lx; bastante inferior às outras estruturas.

Assim como em DSSCs, as PSCs caracterizam-se por um processo de fabrico simples, de baixo custo e design flexível. E tal como nas DSSCs, a selagem das PSCs é de extrema importância. A perovskita é material sensível à humidade e oxigénio, decompondo-se na sua presença; o que torna os dispositivos não funcionais. A aplicação de uma selagem hermética previne a entrada de elementos externos e permite aumentar a estabilidade e o tempo de vidas das células PSCs.

**Durante o projeto PVBoost, prevê-se a preparações de células solares de DSSC e PSC n-i-p e p-i-n com PCEs elevados para aplicações em dispositivos IoT. Além do objetivo de alta eficiência, a utilização de materiais sustentáveis e processo de fabrico simples e escaláveis serão investigadas com o objetivo de comercialização dos dispositivos. Pretende-se também obter células altamente estáveis, com tempos de vida elevados e superiores às propostas presentes atualmente no mercado através da aplicação de uma selagem hermética.**

### Impacto

#### Aparelhos elétricos / eletrónicos passíveis de serem equipados com módulos de PSC ou DSSC.

Existe um conjunto alargado de aparelhos elétricos / eletrónicos que podem beneficiar da incorporação de células iPV. Estes aparelhos foram identificados por empresas que já operam neste mercado – 3GSolar (Israel), Ricoh (Japão) e EnOcean (Alemanha). O desenvolvimento de iPV, como previsto neste projeto, abre novos horizontes a incorporação de iPV em aparelhos tais como comando à distância, telemóveis e tablets. Foram identificados os equipamentos passíveis de serem equipados com módulos iPV (Tabela 3), e que poderão servir o promotor líder – A400, empresa de projeto vocacionada para o mercado dos hotéis.

A maioria dos aparelhos IoT são autónomos, i.e. sem ligação à rede, alimentados por baterias com uma vida útil de 3 anos; necessitam depois ser substituídas. Os aparelhos IoT equipados com células iPV podem ser alimentados diretamente pela célula iPV ou utilizar um dispositivo de armazenamento de energia (bateria ou condensador) que é carregado pela célula iPV. A **Figura 9** mostra o diagrama de um circuito típico de iPVs aplicadas em aparelhos IoT<sup>31</sup>. O circuito é composto por um módulo fotovoltaico, uma unidade de controlo (PCBA), uma bateria

<sup>27</sup>Rong et. al., Science 2018, 361 (6408), eaat8235. [DOI](#).

<sup>28</sup>He et. al., Advanced Materials 2021, 33 (27), 2100770. [DOI](#)

<sup>29</sup>Ma et. al., Device 2023, 1 (6), 100174. [DOI](#)

<sup>30</sup>Cheng et. al., Advanced Energy Materials 2019, 9 (38), 1901980. [DOI](#)

<sup>31</sup>Che et. al. Materials Today Energy 2024, 44, 101621. [DOI](#)

recarregável ou condensador e um dispositivo IoT. A unidade de controlo gere a energia produzida pelo módulo iPV e disponível na unidade de armazenamento para alimentar (opcional), conforme as necessidades energéticas, o dispositivo IoT. Dependendo da potência e da voltagem requerida pelos aparelhos de IoT, várias células PV podem ser conectadas em série ou paralelo.

Tabela 3 - Exemplos de possíveis equipamentos a serem equipados com células iPV.

EQUIPAMENTO	Bateria tipicamente instalada	Potência consumida	Autonomia
Rádio alarme	Bateria de Lítio CR2032; 3V; 210-240 mAh	5-9 mW	3 anos
Módulo Sensor	Bateria de Lítio CR2032; 3V; 210-240 mAh;	9.2 mW	3 anos
Interruptor sem fios	Bateria de Lítio CR2032; 3V; 210-240 mAh	0.3 mW	3 anos
Balança cozinha	Bateria de Lítio CR2032; 3V; 210-240 mAh	0.1-0.7 mW	1-3 anos
Balança casa banho	Bateria de Lítio CR2032; 3V; 210-240 mAh	0.5-1 mW	1-3 anos
Sensor temperatura	Bateria de Lítio CR2430 battery; 3V; 280 mAh	1-2 mW	~1-2 anos
Sensor humidade	3 baterias AAA (não recarregáveis); 4,5 V; 1000 mAh	0.7-3 mW	~1-3 anos
Relógio de parede	Bateria AA (não recarregável); 1,5 V; 2500 mAh	5-15 mW	~3 anos

O circuito é composto por um módulo fotovoltaico, uma unidade de controlo (PCBA), uma bateria recarregável ou condensador e um dispositivo IoT. A unidade de controlo gere a energia produzida pelo módulo iPV e disponível na unidade de armazenamento para alimentar (opcional), conforme as necessidades energéticas, o dispositivo IoT. Dependendo da potência e da voltagem requerida pelos aparelhos de IoT, várias células PV podem ser conectadas em série ou paralelo.

Os componentes de um dispositivo IoT com iPV devem ser integrados numa única placa de circuitos para facilidade de utilização e implementação. Até à data, algumas empresas em fase de arranque estão a tentar comercializar produtos iPV sem ou com integração em IoT. Por exemplo, a 4EverTrack é um dispositivo de deteção e rastreio de baixo potência alimentado por iPVs sem a utilização de baterias, desenvolvido pela Lightricity (Reino Unido). Protótipos de integração de iPV em ratos de computador ou controlo remotos já foram desenvolvidos por outros empresas<sup>32</sup>.

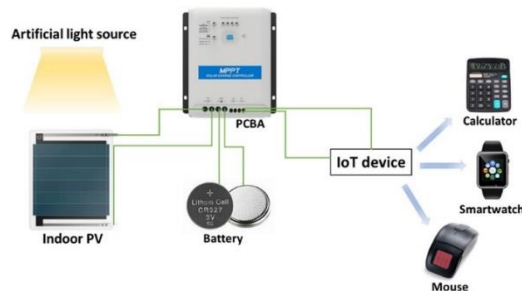


Figura 8- Diagrama de um circuito típico de iPV aplicado em aparelhos IoT.

### Objetivo

O projeto visa o desenvolvimento de soluções tecnológicas inovadoras para a captação de luz ambiente, de modo a providenciar uma fonte de energia autónoma e longos tempos de vida útil a diversos aparelhos eletrónicos usados no interior de edifícios. Pretende-se valorizar economicamente as soluções tecnológicas encontradas, transferindo o conhecimento de I&D de entidades não empresais para o tecido empresarial, com a criação de novos e melhorados produtos de valor acrescentados. Equipar diversos aparelhos eletrónicos usados na gestão e controle de edifícios com uma fonte de energia robusta, limpa e sustentável, possibilitará reduzir os gastos energéticos nos edifícios, contribuindo para a redução dos gases com efeitos de estufa e promovendo a transição energética e descarbonização dos edifícios e cidades (área prioritária RIS3 - Mobilidade Sustentável e Transição Energética). O aumento do tempo de vida útil dos aparelhos eletrónicos equipados com uma fonte de energia extra, reduzirá a crescente necessidade do uso de baterias, bem como o impacto ambiental e o desperdício dos materiais críticos usados na produção das mesmas. Assim, este projeto tem como principal objetivo o desenvolvimento de módulos fotovoltaicos, a partir de células solares sensibilizadas com corante (DSSC) e células solares de perovskita (PSC), para recarregar as baterias “PV Boost” de vários

<sup>32</sup> RICOH EH Environment Sensor, [URL](#)

aparelhos eletrónicos de baixa tensão (1,5 – 9,0 V), usados no interior de edifícios. Os módulos fotovoltaicos deverão obedecer aos seguintes requisitos: **i)** Utilização de materiais economicamente acessíveis e comercialmente disponíveis para a sua construção; **ii)** Produção de uma tensão 1,0-5,0 V em condições normais de luz de interior; sempre que necessário, será usado um conversor DC-DC para converter o sinal do módulo iPV no potencial elétrico nominal do aparelho eletrónico; **iii)** Encapsulamento hermético por selagem de frita de vidro e uma eficiência estável por um período > 10 anos (redução de eficiência < 10 %); **iv)** Eficiência de conversão de energia > 20 % em condições de luz interior de 1000 lx; **v)** Cumprimento de exigentes critérios estéticos, permitindo a utilização de padrões e logotipos; **vi)** Desenvolvimento e otimização do processo de fabrico dos módulos iPV para minimizar os custos de fabricação e maximizar a fiabilidade de produção, com o intuito atingir as condições para a produção em escala industrial; **vii)** Integração dos módulos iPV em pelo menos 6 aparelhos elétricos/elettrónicos, com o propósito de criar apetência do mercado para as iPV, abrindo a sua produção nacional ao mercado mundial.

Os avanços tecnológicos irão providenciar uma fonte de energia autónoma e duradoura a diversos aparelhos com capacidade de comunicação entre si, com sistemas de gestão, alarmes, sensores, domótica e IoT. A integração de iPV nestes aparelhos eletrónicos criará produtos de valor acrescentado, fomentando a maior incorporação destes dispositivos em edifícios residenciais, escritórios e industriais. Será possível realizar uma gestão autónoma e integrada de infraestruturas através da conectividade permanente de um conjunto de tecnologias digitais (IoT) visando a transformação digital de edifícios, cidades e da sociedade (área prioritária RIS3 - Tecnologias, Estado, Economia e Sociedade).

Durante este projeto pretende-se avançar a tecnologia de selagem de frita de vidro assistida por laser, desenvolvida e patenteada por investigadores portugueses da FEUP. O desenvolvimento de iPV hermeticamente seladas com uma estabilidade superior às ofertas de mercados irá lançar as bases para aplicação em outros equipamentos com maior valor acrescentado (ar-condicionado, projetores, entre outros). Neste sentido, o PVBoost tem também como objetivo o desenvolvimento **pioneiro** de módulos fotovoltaicos de interior selados hermeticamente por frita de vidro a temperaturas < 120 °C. Este projeto visa o desenvolvimento de um produto diferenciador e inovador, capaz de competir com as ofertas dos países estrangeiros e que promovam o desenvolvimento de novas soluções em sectores de mercado adjacentes.

## 1.2. Qualidade

Características Inovadoras	Unidade de medida	Situação no Mercado	Objetivos do Projeto	Importância Relativa (%)
Células iPV com elevada estabilidade	Hermeticidade MIL-STD-883	Não existem	Estabilidade > 20 anos	45
Módulos iPV com elevada eficiência em luz interior	Eficiência (%)	Existem, mas com menor eficiência	> 20 %	25
Módulos iPV até 50 cm <sup>2</sup>	Tamanho e hermeticidade MIL-STD-883	Não existem	Selagem hermética c/ reprodutibilidade > 95%	15
Módulos iPV produzindo uma potência até 500 µW	Potência produzida	Existem, apenas nos líderes de mercado	Potência nominal estável durante operação	10
Módulos iPV de vidro finos	Espessura	Não existem	Produzir o 1º protótipo com espessura total < 1.5 mm	5

### Características Inovadoras e Objetivos SMART

O projeto PVBoost visa o desenvolvimento de módulos fotovoltaicos de grande eficiência, a partir de células solares sensibilizadas com corante (DSSC) e células solares de perovskita (PSC), para

alimentação das baterias de um variado conjunto de aparelhos eletrónicos de baixa tensão (1,5–9,0V), usados no interior de edifícios. Seguidamente são detalhadas as características inovadoras dos módulos fotovoltaicos de interior (iPV) que serão desenvolvidas no âmbito do presente projeto. Estes desenvolvimentos são sobretudo tecnológicos: escolha dos materiais, métodos e equipamentos adequados para produção industrial. Espera-se demonstrar, validar e qualificar os módulos em ambiente operacional (TRL7) e que as empresas A400 e Azure Photon incorporem os conhecimentos nos seus portfólios.

#### **iPV com elevada estabilidade (tempo de vida)**

Existem algumas empresas que comercializam iPV para alimentar as baterias de pequenos aparelhos usados no interior de edifícios - Fujikura (Japão), Ricoh (Japão), EnOcean (Alemanha) e Solaris Entreprises (Canada). As células iPV comercializadas por estas empresas são seladas com polímeros/resinas, relativamente pouco herméticos e estáveis, e por isso apresentam tempos de vida relativamente curtos (<5 anos). Ainda não existem no mercado iPV encapsulados com a tecnologia de selagem de fritas de vidro com assistido por laser. Este desenvolvimento é crítico porque aumentará o tempo de vida dos módulos para > 20 anos bem como o seu valor comercial. Este será o ponto mais diferenciador e inovador que ajudará a rápida disseminação dos módulos desenvolvimentos durante este projeto.

#### **Módulos iPV com elevada eficiência em luz interior**

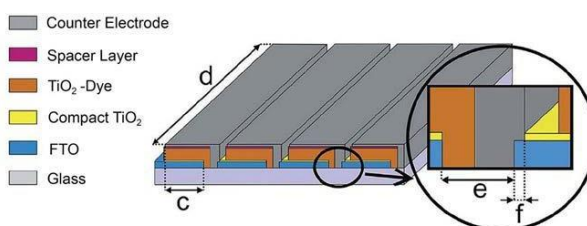
Os módulos iPV existentes no mercado apresentam eficiências em condições de luz interior de aprox. 15 %. Este projeto PVBoost tem como objetivo o desenvolvimento de módulos iPV com eficiências superiores 20 %.

#### **Módulos iPV até 50 cm<sup>2</sup>**

A potência produzida pelos módulos iPV é diretamente proporcional à sua área. Aparelhos eletrónicos com necessidades energéticas maiores requerem módulos iPV com maior produção energética e consequentemente maior dimensão. No entanto, o aumento de escala de módulos iPV têm diversos obstáculos, como baixa condutividade elétrica dos contactos frontal de vidro revestido com TCO e do contacto posterior quando não é metálico. As soluções para resolver estes problemas é a utilização de malhas metálicas para aumentar a condutividade dos contactos ou a fabricação de várias células em individuais ligadas em série (**Figura 10**)<sup>33</sup>. Neste último caso, a ligação elétrica entre cada célula é de enorme importância pois reduz a área ativa dos módulos e a potência produzida. Durante o PVBoost serão fabricados módulos iPV de grandes dimensões até 50 cm<sup>2</sup> com células ligadas em série; a ligação elétrica entre cada célula será otimizada para uma perda de área ativa menor de 15 %. O encapsulamento destes módulos usando o processo de selagem hermético é de extrema importância para o avanço comercial deste produto. O processo de selagem será otimizado para a selagem de módulos de grandes áreas com objetivo de obter uma taxa de sucesso de > 95 %. A fabricação e selagem de módulos de áreas com uma reprodutibilidade superior a 95 % é importante para o futuro desta tecnologia pois facilitará a produção industrial em série dos módulos. **Atualmente, no mercado não existem módulos iPV encapsulado hermeticamente com frita de vidro.**

#### **Módulos iPV produzindo uma potência até 500 μW**

Módulos iPV com capacidade de produção de potência até 500 μW permitirá aumentar o número possível de aparelhos eletrónicos a implementar os módulos iPV. Apenas os líderes de mercado



**Figura 9- Representação esquemática de células DSSC monolíticas ligadas em série.**

<sup>33</sup> Takeda et. al., Sol. Energy Mater. Sol. Cells., 93(6-7), 808–811, [DOI](#)



oferecem módulos com elevada capacidade de potência máxima. O PVBoost tem como objetivo a produção de módulos com elevada estabilidade da potência produzida durante operação.

#### **Módulos iPV de vidro finos**

Os módulos iPV existentes no mercado tem uma espessura entre 2 e 3 mm. No âmbito do projeto PVBoost serão desenvolvidos pela primeira vez a nível mundial, módulos iPV finos com  $< 1.5$  mm. Este desenvolvimento será importante porque permitirá uma mais fácil integração dos módulos iPV nos aparelhos eletrónicos, especialmente em telemóveis e tablets.

#### **Objetivos SMART**

Os objetivos do projeto são específicos e quantificáveis pretendendo alcançar módulos iPV de elevada estabilidade  $> 20$  anos e eficiência  $> 20$  %, de grande dimensão até  $50 \text{ cm}^2$ , com reprodutibilidades  $> 95$  % e potência produzida até  $500 \mu\text{W}$ . Todos os objetivos são bem delineados e os critérios estabelecidos permitem acompanhar e medir o progresso do projeto e saber quando forem atingidos. Os objetivos deste projeto são pertinentes tendo em conta as ofertas de mercado. Alcançar estes objetivos permitirá competir com as várias empresas no mercado, oferecendo um produto diferenciador. Apesar de serem desafiadores, os objetivos podem ser alcançados com base na experiência e competências das entidades de projeto, especialmente da FEUP, no desenvolvimento científico e tecnológico das tecnologias necessárias durante o projeto. Embora, nos objetivos não é referido nenhuma base temporal, a duração de 3 anos do projeto é adequada para alcançar todos os objetivos propostos. A criação e comercialização deste tipo produto requer um desenvolvimento rápido e eficaz de modo a criar procura de mercado e acelerar a expansão industrial.

#### **Desenvolvimentos científicos e tecnológicos propostos**

O projeto PVBoost pretende dar resposta aos importantes desafios descritos anteriormente, sendo que para tal, irá desenvolver diversos progressos científicos e tecnológicos, partindo de um TRL 4, prevendo-se que no final do projeto esteja no nível 7, com a demonstração de produto validado e qualificado em ambiente operacional. Os principais desenvolvimentos científicos e tecnológicos que serão abordados no projeto são:

#### **Estabilidade (Tempo de vida)**

Os módulos iPV a produzir neste projeto serão encapsulados usando a tecnologia de selagem com frita de vidro assistida a laser, tecnologia desenvolvida pelo proponente FEUP e na qual este é líder mundial. Esta tecnologia de encapsulamento permite reduzir significativamente a temperatura do processo de selagem com frita de vidro, usando pastas de vidro de elevada condutividade térmica<sup>34</sup>, e garante uma total hermeticidade e um longo tempo de vida dos módulos fotovoltaicos. A **Figura 11a e b** ilustra a técnica de selagem a vidro assistida a laser numa célula fotovoltaica e dos orifícios de introdução do eletrólito (no caso das células DSSC). A **Figura 11c** ilustra a estação laser desenvolvida na FEUP e que permite a encapsulação de células até  $28 \times 28 \text{ cm}^2$ . Neste momento é possível selar células de pequenas dimensões  $< 10 \text{ cm}^2$  a uma temperatura de processo de  $120^\circ\text{C}$  com uma reprodutibilidade de aprox. 80 %. Células de maiores dimensões  $> 10 \text{ cm}^2$  apresentam menores taxa de sucesso. Pretende-se melhorar consideravelmente a escala e reprodutibilidade do processo para  $> 95$  % e dimensões até  $50 \text{ cm}^2$ , condições necessárias para a pré-comercialização deste tipo de dispositivos. Ambiciona-se ainda reduzir a temperatura do processo de selagem para  $< 120^\circ\text{C}$ .

<sup>34</sup> Emami et. al., Journal of Materials Chemistry A 2020, 8 (5), 2654-2662, [DOI](#)



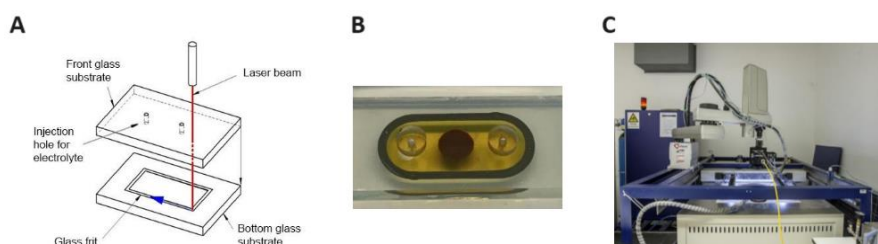


Figura 10- Representação esquemática do processo de encapsulamento com fritas de vidro assistido por laser (a); fotografia de uma célula DSSC inteiramente selada com pasta de vidro (b) e fotografia da estação de selagem automática a laser desenvolvida na FEUP (c).

### Eficiência e tamanho

Em resultado de uma excelente otimização do processo de fabrico, a FEUP detém atualmente uma eficiência de aprox. 32 %<sup>35</sup> para células DSSC <1 cm<sup>2</sup> sob luz artificial. Este resultado é muito próximo da eficiência recorde reportada na literatura para dispositivos laboratoriais. No entanto, células de grandes dimensões ou módulos de células conectadas em série são necessários para obter valores tensão e potência exigidos para alimentar as baterias de aparelhos eletrónicos. Tenciona-se atingir uma eficiência > 20 % para os dispositivos iPV de maiores dimensões >1 cm<sup>2</sup>.

### Módulos finos

Na produção de módulos finos serão usados substratos de vidro < 1 mm e será adaptada a técnica de selagem assistida por laser a esta nova situação. Este desenvolvimento permitirá reduzir a espessura total dos módulos iPV para < 1.5 mm e facilitar a sua integração nos aparelhos eletrónicos. No mercado a maioria dos dispositivos têm uma espessura entre 2-3 mm.

### Abordagem metodológica, técnica e científica para alcançar os objetivos propostos.

O desenvolvimento do projeto implicará um conhecimento em diversas áreas técnicas e científicas que, conforme será detalhado na próxima secção, fazem parte das competências internas do consórcio. Assim, para aumentar o seu potencial e interesse de mercado, os módulos de células iPV devem ser melhorados em alguns aspetos principais, nomeadamente: a) maior estabilidade (tempo de vida); b) maior eficiência; c) menor custo de fabrico; d) maior tamanho e; e) menor espessura global. Contributos importantes para o desenvolvimento da tecnologia dos módulos iPV foram realizados nos últimos anos pelo proponente FEUP, nomeadamente ao nível da estabilidade (tempo de vida), custo de produção, eficiência e tamanho. Em resumo, o projeto será desenvolvido seguindo três grandes vetores:

#### 1. Estabilidade (tempo de vida)

Para a sua aplicação prática, os módulos de células iPV precisam de apresentar uma elevada estabilidade. A estabilidade das DSSCs é determinada sobretudo pela degradação e dessorção do corante<sup>36,37</sup> na presença de vapor de água e oxigénio e pela evaporação do eletrólito. Nas PSCs, a estabilidade é determinada principalmente pela camada absorvente de perovskita e é afetada por fatores intrínsecos, exposição à humidade e oxigénio, iluminação e exposição térmica. A encapsulação hermética destas células é uma necessária para proteger contra humidade e oxigénio e evitar a fuga de eletrólito (DSSC). O **PVBoost** tem como objetivo pela primeira vez selar células iPV com frita de vidro assistida por laser para a aplicação em interiores. O encapsulamento hermético promete um tempo de vida superior a 20 anos para os fotovoltaicos exteriores. Nas

<sup>35</sup> Hora et. al., ACS Applied Energy Materials 2022, 5 (12), 14846-14857. [DOI](#)

<sup>36</sup> Xue et. al., Int. J. Electrochem. Sci., 7(2), 1496–1511, [DOI](#)

<sup>37</sup> Chen et. al., ChemSusChem. 6(7), 1270- 5. [DOI](#)

condições de funcionamento em interiores mais moderadas, o encapsulamento hermético pode proporcionar um tempo de vida superior a 20 anos.

Atualmente, DSSCs e PSCs são seladas usando termoplásticos como o Surlyn, Bynel ou EVA<sup>38,39</sup>. Os selantes poliméricos apresentam permeabilidade ao oxigénio e vapor de água; sofrem envelhecimento relativamente rápido e perdem rigidez a temperaturas relativamente baixas 60-90 °C. O Surlyn é o material menos adequado, apresentando uma fraca estabilidade após ensaios de vida útil<sup>40</sup>. PSC encapsuladas com EVA apresentaram decomposição do cristal de perovskita após 20 h de envelhecimento acelerado a 120 °C e 100 % de humidade relativa; ácido acético formando pela degradação do EVA reage com a perovskita decompondo-a<sup>41</sup>.

A selagem usando pastas de vidro é obter uma encapsulação hermética e duradoura devido às suas elevadas estabilidades mecânicas, químicas, térmicas e devido à sua impermeabilidade ao oxigénio, água e à maioria dos solventes orgânicos<sup>42,43</sup>. Hinsch et al.<sup>47</sup> demonstraram a boa estabilidade térmica das células DSSC, seladas com pastas de vidro, a temperaturas elevadas de 86 °C, estabilidade que não se consegue obter com selantes poliméricos.

A termocompressão é o método normalmente usado para selar usando pastas de vidro. Este processo é conduzido a elevadas temperaturas > 450 °C, e impede a fabricação de células com componentes sensíveis à temperatura como é o caso da camada de perovskita nas PSC e do corante na DSSCs. A FEUP foi a primeira a demonstrar a técnica de selagem com pastas de vidro assistida por laser de DSSCs; este método permitiu reduzir significativamente a temperatura processual para 250 °C<sup>44</sup>. Contínuo desenvolvimento do processo de selagem e a aplicação de múltiplas pastas de vidro permitiu reduzir a temperatura de selagem para aprox. 110 °C; DSSC e PSC<sup>39</sup> seladas com este método demonstraram elevada estabilidade e proteção contra fatores ambientais. Recentemente, um método inovador usando dois feixes de laser permitiu baixar a temperatura para <85°C<sup>45</sup>. PSCs encapsuladas com este método mantiveram-se estáveis após 500h a 85% humidade relativa e 50 ciclos térmicos de 40°C a 65°C. A FEUP tem vindo a realizar um contínuo desenvolvimento do processo de selagem através da aplicação e testagem de novas pastas de vidro, avaliação e integração de novos componentes óticos no sistema de selagem e abordagem sistemática aos desafios e problemas apresentados. Este desenvolvimento requer conhecimentos técnicos e científicos da área de materiais, física e química. A caracterização hermética da selagem é essencial para garantir um encapsulamento hermético e robusto. Testes de hermeticidade de acordo com as normas MIL-STD-883 e teste ambientais de acordo com protocolos ISOS são realizados para garantir uma estabilidade >20 anos.

## 2. Eficiência

Desde o trabalho inovador de O'Regan e Grätzel em 1991, a eficiência das DSSC aumentou de 7,1% até 15,2%<sup>28</sup>. Nos últimos anos, as DSSC têm sido otimizadas para funcionarem com luz interior. O espectro de absorção dos corantes das DSSC ajusta-se muito bem ao espectro da luz de interiores (LEDs, lâmpadas fluorescentes) permitindo atingir eficiências até 35.6 % com fontes de luz artificial (**Tabela 2**). Materiais e métodos sofisticados são utilizados para atingirem elevadas

<sup>38</sup> Hagfeldt et. al., Chem. Rev., 110(11), 6595–6663. [DOI](#)

<sup>39</sup> Mathew et. al., Adv. Mat. Lett., 5(4), 180-183. [DOI](#)

<sup>40</sup> Matteocci et. al., Nano Energy 2016, 30, 162-172. [DOI](#)

<sup>41</sup> Checharoen et. al., Sustainable Energy & Fuels 2018, [DOI](#)

<sup>42</sup> Hinsch et. al., Prog. Photovolt: Res. Appl., 16(6), 489–501. [DOI](#)

<sup>43</sup> Sastrawan et. al., Sol. Energy Mater. Sol. Cells, 90(11), 1680–1691. [DOI](#)

<sup>44</sup> Ribeiro et. al. J. Renewable Sustainable Energy, 6(1):011208. [DOI](#)

<sup>45</sup> Martins et. al., Journal of Materials Chemistry A 2020, 8 (38), 20037-20046, [DOI](#)

eficiências em DSSCs. A FEUP tem vindo a desenvolver DSSCs eficientes a partir de materiais comerciais, exibindo eficiências entre 9-11 % sob luz solar AM 1.5G e de 32 % sob luz artificial<sup>46</sup>. Usando a estrutura monolítica com contacto posterior de carbono foram obtidos PCE de 10.7 % sob 1-sol e 28.7 % sob 1000 lux<sup>46</sup>. Os valores elevados de eficiência são reportados para pequenos dispositivos laboratoriais com  $< 0.2 \text{ cm}^2$ . A eficiência de DSSC diminui exponencialmente com o aumento da área do dispositivo de  $0.2 \text{ cm}^2$  para  $2 \text{ cm}^2$ . O principal contributo para esta redução é a diminuição da densidade de corrente devida às perdas resistivas no substrato de TCO; que será abordado no ponto seguinte (**3. Tamanho**).

Desde a sua descoberta em 2009, as PSCs têm ganho grande atenção devido a rapidamente atingiram uma alta eficiência de 26,1 % sob 1-sol AM1.5G. No entanto, o hiato energético do absorvedor de perovskita não é adequado para aplicação em iluminação interior. Para melhorar a absorção da luz interior nas PSCs, a estrutura química da perovskita é modificada através da mistura em diferentes rácios dos catiões e aniões que formam o cristal. Durante o PVBoost, o hiato energético da perovskita será ajustado para 1,8 eV, ideal para a luz interior. Formamidínio será utilizado como o catião principal e metilamônio será utilizado para estabilizar a estrutura cristalina<sup>47</sup>. O guanidínio (GA)

será utilizado para dopar a camada de perovskita; a dopagem formará uma perovskita 2D FAGAPbI<sub>4</sub> que irá reduzir os defeitos entre os cristais de perovskita. A estrutura de mesoporosa n-i-p composta por TiO<sub>2</sub> como ETL e Spiro-MeOTAD ou PTAA como

HTL será utilizada; PEAL será usado para passivar interface entre a perovskita e HTL. Eficiências de 42.1 % já foram reportados por PSCs, superiores às células de DSSCs. Contudo, e similar às DSSC, são utilizados materiais e métodos sofisticados para atingirem elevadas eficiência. O objetivo é obter uma eficiência superior 30 % para PSC laboratoriais e  $> 20 \%$  para módulos sob iluminação de 1000 lx, usando materiais comerciais. As DSSCs e PSCs apresentam altas eficiências laboratoriais e prometem altas eficiências em módulos. No entanto, para industrialização os custos dos materiais e dos métodos de fabricações são igualmente essenciais. Durante o PVBoost será investigado qual a melhor tecnologia em termos de custo/eficiência para ser comercializada.

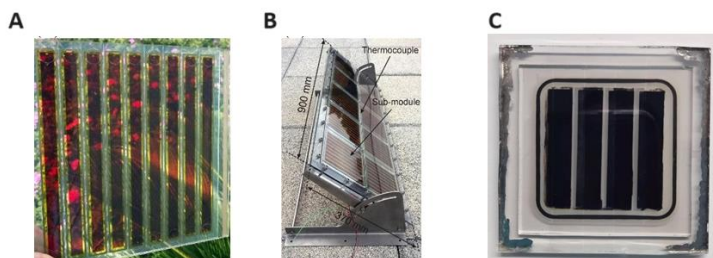


Figura 11 - Fotografia (a) de um sub-módulo DSSC, (b) de um painel de DSSC<sup>46</sup> e (c) modulo de PSC.

### 3. Tamanho.

O proponente FEUP tem uma grande experiência na produção de células<sup>48</sup>, módulos e painéis<sup>49</sup> DSSC com grande área. No caso de células de grande área, a FEUP desenvolveu pela primeira vez substratos de vidro providos de linhas coletoras de corrente metálicas de crómio aplicadas sobre o TCO – que lhes conferem uma elevada condutividade. Células DSSC fabricadas com estes substratos apresentaram uma eficiência 9 vezes superior às células de referência sem linhas coletoras<sup>53</sup>. No caso dos módulos, o proponente FEUP demonstrou o fabrico de módulos selados com pasta vidro e constituídos por 9 células individuais ligadas em série. Seguidamente, fabricou um painel composto por 10 módulos (perfazendo um total de 90 células, Figura 12a e b). Este painel demonstrou uma elevada estabilidade em condições reais de operação contínua<sup>54</sup>. A FEUP

<sup>46</sup> Santos et. al., Solar RRL 2024, 8 (2), 2300574. [DOI](#).

<sup>47</sup> Jeong et. al., Nature 2021, 592 (7854), 381-385. [DOI](#)

<sup>48</sup> Ivanou et. al., J. Electrochem. Soc., 165(16):H1040-H1046. [DOI](#).

<sup>49</sup> Ivanou et. al., Sol. Energy, 135, 674-681. [DOI](#)

também já produziu pequenos módulos de PSC com a configuração mesoporosa tripla (Figura 12c) selados usando pasta de vidro. Em ambos os casos, a perda de área ativa é elevada, e deve ser reduzida. O uso de microestruturação e ablação por laser das várias camadas funcionais permitirá diminuir a área de interligação entre células individuais e aumentar área ativa dos dispositivos.

## 2. Capacidade de Execução

### 2.1. Apresentação do consórcio

O consórcio é formado pela A400, como empresa líder e pela FEUP e Azure Photon, como entidades copromotoras. Durante o projeto prevê-se que a partilha de conhecimento entre as entidades do consórcio conduza a uma futura transferência alargada da tecnologia desenvolvida na FEUP para o meio tecnológico empresarial (Azure Photon) e deste para um grande consumidor final, como é o caso da empresa de projetos A400.

A A400 é uma empresa de consultoria de engenharia com mais de 25 anos de experiência na elaboração e desenvolvimento de projetos globais de edifícios (hotéis, habitações, serviços, escritórios), atuando nos mercados nacionais e estrangeiro (Angola, Moçambique e Cabo Verde). Na visão da A400, a gestão de grandes edifícios de serviços e comerciais é atualmente uma das vertentes mais importantes do negócio do mercado imobiliário, sendo o consumo de energia um dos principais custos nessa gestão. Por este motivo a A400 tem vindo a interiorizar progressivamente em todos os seus projetos o conceito de otimização e sustentabilidade energética. A gestão técnica centralizada dos edifícios vai permitir alterar parâmetros de funcionamento dos equipamentos de forma a otimizar os consumos aumentando a eficiência destes espaços. Para isso é importante o “feed-back” em tempo real e em cada instante de dados que ajudem a gestão como temperatura interior e exterior, nível de humidade, nível de CO<sub>2</sub>, consumos de cada equipamento, entre outros, apenas possível através da digitação dos sensores.

A A400 considera que a tecnologia de módulos iPv a ser desenvolvida pelos parceiros FEUP e Azure Photon tem um enorme potencial de mercado e se encaixa perfeitamente naquela que é a visão de futuro da empresa. As soluções tecnológicas propostas no projeto PVBoost trazem importantes mais valias, nomeadamente: i) permitirá a simplificação da construção pois tornará obsoletas parte das cablagens e perfurações nas paredes para passagem de cabos, nomeadamente no que toca à incorporação de alarmes de incêndio, interruptores elétricos sem fios, sensores de temperatura parede, etc; ii) reduzirá os consumos durante a operação com a alimentação de aparelhos eletrónicos ser feita com a luminosidade do próprio espaço; embora pequena, é significativa - e.g. o carregamento de telemóveis nos EUA implicam um consumo de 3 TWh/ano<sup>50</sup>.

A FEUP é, a nível mundial, quem detém a exclusividade do conhecimento da tecnologia de selagem de células DSSC e PSC assistida por laser. Realiza contínuo desenvolvimento em células solares com mais de 15 anos de experiência e mais de 70 artigos publicados em revistas científicas da área. A FEUP detém o recorde mundial de eficiência em células DSSC com estrutura monolítica e a FEUP tem em desenvolvimento uma máquina a laser para selar substratos de vidro a baixa temperatura para aplicações laboratoriais. Este processo é de elevada importância para encapsular células solares sensibilizadas por corante (DSSC) e células solares de perovskita (PSC).

A Azure Photon, spin off da FEUP, criada a partir de resultados de I&D na área de DSSC, PSC e processamento laser, pretende conceber um processo de selagem industrial adequado para integração na linha de produção de células solares de 3ª geração (DSSCs, PSCs e OPVs) e visiona tornar-se o líder na área de PV de interior. Atualmente trabalha na modelação fenomenológica

<sup>50</sup> Annual residential consumer electronics energy use in 2017, [URL](#)

da selagem assistida por laser com vista a baixar a temperatura de processo para aplicações laboratoriais e industriais. Avanços tecnológicos na área da selagem por laser têm sido realizados em colaboração com fabricantes de fontes laser a nível mundial e especialistas em ótica, como a IPG Photonics, Triumph, AIMEN, MTC, ThorLabs, juntamente com a experiência de automatização da FEUP. A Azure planeia ter o primeiro sistema integrado de linha de selagem por laser concebido e construído até 2026.

A responsabilidade de cada promotor decorre do saber, experiência e das competências dos seus quadros e do trabalho de campo e de conceção e I&D em projetos desenvolvidos no passado aumentando assim a probabilidades de sucesso deste projeto. O promotor líder, **A400**, conta com uma equipa multidisciplinar e equilibrada, alocando ao projeto 4 colaboradores internos da empresa e um consultor externo (Eng. Diogo Drumond da DTWay). A necessidade de sub-contratação do consultor externo justifica-se pelo facto de o Eng. Drumond ter uma grande experiência na área da digitalização de edifícios utilizando ferramentas IoT, Machine Learning e processos BIM. Destacam-se os seguintes Recursos Críticos: **Francisco José Pires Morgado Bernardo (A400)**. O Engenheiro Francisco Bernardo licenciou-se, em 1993, em Engenharia Civil pela FEUP. Recebeu em 1993 o Prémio Fundação Eng. António de Almeida - Melhor aluno do Curso de Eng. Civil da FEUP no período 1988/89 a 1992/93). Em 1999, concluiu o Mestrado em Estruturas de Engenharia Civil, pela Universidade do Porto, com a classificação final de Muito Bom. Em 1995, ele criou juntamente com dois sócios e ex-colegas de curso, a empresa “A400 - Projetistas e Consultores de Engenharia”, sendo sócio-gerente desde Agosto de 1995. Tem desde 2016 o grau de Especialista em Estruturas pela Ordem dos Engenheiros. **António Manuel da Cunha Monteiro (A400)**. O Engenheiro António Monteiro licenciou-se, em 1993, em Engenharia Civil pela FEUP. Possui também um Mestrado em Estruturas de Engenharia Civil, pela Universidade do Porto. É sócio-gerente da empresa “A400 - Projetistas e Consultores de Engenharia”, desde Agosto de 1995. Tem desde 2016 o grau de Especialista em Estruturas pela Ordem dos Engenheiros. Dos vastíssimos currículos dos Engenheiros Francisco Bernardo e António Monteiro, enquanto sócios gerentes da empresa A400, consta a Elaboração e Desenvolvimento do Projeto de Execução de Estruturas e especialidades de: i) vários hotéis em várias cidades e países, nomeadamente no Porto (Hotel Infante Sagres; Hotel Almada; Hotel Monumental; Descobertas Boutique Hotel; Hotel Vinci; Hotel São Bento da Vitória; Hotel Palacio dos Ferrazes); em Lisboa (Hotel Memmo Alfama; Hotel Pink; Hotel São Paulo; Hotel Convento de São Domingos); em Vila Nova de Gaia (Hotel Yetman – ampliação); em Cascais (Hotel The Oitavos, Quinta da Marinha; Hotel Intercontinental Cascais/Estoril Residence); em Cabo Verde (Hotel Radisson); em Moçambique (Sena Hotel, Beira) e na Arménia (Hotel Marriot Yerevan); ii) várias residências de estudantes no Porto (Rua Dr. Manuel Pereira da Silva), em Lisboa (Rua Sousa Lopes; Conde Redondo) e em Coimbra (Rua do Brasil); iii) vários edifícios de habitação e de escritórios no Porto, em Lisboa e em Luanda (Angola); iv) vários edifícios industriais em Paredes, Estarreja e no Pego; v) vários espaços comerciais, lúdicos e culturais em Gaia, na Figueira da Foz, em Bragança, Vila Real, Coimbra, Braga e em Luanda (Angola) e vi) uma escola em Carcavelos. Incluem ainda nos recursos críticos **Alexandre Miguel Marvão Martins (A400)** licenciou-se em 2000 em Engenharia Eletromecânica e possui Mestrado em Sistemas de Controlo e Manutenção Industrial concluído em 2006 pela Universidade da Beira Interior (UBI). Trabalha desde 2008 na empresa A400 onde coordena as especialidades de Eletricidade, Segurança Contra Incêndio e Telecomunicações/ITED e atualmente é o Diretor do Departamento de Instalações Especiais – Eletricidade e Telecomunicações. **Carlos António de Melo da Rocha Moreira (A400)**, arquiteto pela Universidade do Minho em 2011. Está na A400 desde 2017, onde é especialista em BIM (Building Information Modeling) e esteve envolvido em projetos de arquitectura de vários edifícios e infraestruturas em Angola (WTC residence, Garden Residence), Portugal (SIMPORTO; parque aquático Wavegarden), e China (Toscana Village Outlet); e **Diogo Silva Drumond (DTWay, A400)**, inicialmente projetista de



estrutura na A400, tendo posteriormente assumido funções de coordenador de projeto e direção de produção. É desde 2018 o responsável da empresa DTWay, que opera na área da digitalização de edifícios utilizando ferramentas IoT, Machine Learning e processos BIM.

A **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP)**, destaca-se entre as 150 melhores universidades europeias em renomados rankings internacionais de Ensino Superior. Em 2022, a FEUP tinha 170 projetos de Investigação e Desenvolvimento (I&D) em parceria com empresas, tanto nacionais quanto internacionais e 74 protocolos de cooperação ativos com empresas. Destacam-se os seguintes Recursos Críticos: **Adélio Miguel Magalhães Mendes (FEUP)**. Professor Catedrático na FEUP-Departamento Engenharia Química. Coordena uma grande equipa de investigação com interesses em células solares sensibilizadas com corante (DSSC), células solares de perovskita (PSC), células fotoelectroquímicas, fotoeletroredução do CO<sub>2</sub>, baterias redox de caudal, células de combustível de eletrólito de membrana polimérica, reatores de membrana e reatores eletroquímicos, processos de separação com membrana e adsorção. O Prof. Mendes é autor de cerca de 380 artigos científicos e de 25 famílias de patentes e autor de um livro texto. Tem projetos FCT, Adl, Comissão Europeia e por empresas Nacionais e Internacionais. **Joaquim Gabriel Magalhães Mendes (FEUP)**. Professor Catedrático na FEUP-Departamento de Mecânica. Como investigador foi responsável de 9 projetos de investigação e membro da equipa de 37 projetos de investigação; autor/co-autor de 3 livros e 20 capítulos de livros, 100 Artigos Científicos publicados em revista, e 270 artigos em conferências. **Dzmitry Ivanou (FEUP)**. O Dr. Ivanou, h-17 (Scopus, 2024), obteve o seu doutoramento em Química em 2005. Desde 2022, tem vindo a desempenhar o cargo de investigador principal no LEPABE-FEUP onde foi membro da equipa em 12 projetos científicos, nacionais e internacionais. Publicou cerca de 70 artigos em revistas com revisão por pares, 3 capítulos de livros e 2 patentes e foi co-orientador em 4 teses de doutoramento. **Gabriel Bernardo (FEUP)**. h= 18 (Scopus 2024), é doutorado em Ciência dos Materiais pela Universidade de Oxford (2005). Foi investigador Marie Curie na Universidade de Sheffield em Inglaterra (2015/17) num projeto em células fotovoltaicas orgânicas. É investigador auxiliar desde 2020 no LEPABE-FEUP. Publicou cerca de 70 artigos científicos publicados em revista, 2 capítulos de livros, orientou/co-orientou 2 teses de doutoramento e 22 teses de mestrado. **João Quesado Delgado (FEUP)**. Doutoramento em Engenharia Química pela FEUP Porto, desde 2002. Com mais de 20 anos de experiências de investigação nas áreas da Engenharia Química e da Engenharia Civil. É investigador auxiliar desde 2021, no Instituto de I&D em Estruturas e Construção (CONSTRUCT) no Departamento de Engenharia Civil, FEUP. É membro do Conselho Consultivo da Unidade de Investigação CONSTRUCT por possuir um dos 10 currículos mais relevantes. Autor de mais de 200 publicações em revistas internacionais, mais de 150 comunicações em congressos internacionais e nacionais, autor de 13 livros internacionais e 32 capítulos de livros internacionais, editor de 20 livros internacionais e de 30 revistas internacionais por convite e orientou 20 estudantes de doutoramento e mestrado. No momento, lidera um projeto FCT "BlueHouseSim" e está envolvido num projeto para as Agendas para a Inovação Empresarial do PRR, R2UTechnologies - modular systems.

A **Azure Photon Lda.** é uma spin-off da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e foi criada em 2023. A empresa visa desenvolver, produzir e comercializar soluções para o sector energético. A missão da Azure Photon é possibilitar e promover uma transição rápida de tecnologias inovadoras desde a prova de conceito até à industrialização/comercialização. Destacam-se os seguintes Recursos Críticos: **Seyedali Emami (Azure Photon)** obteve o grau de Doutor em Engenharia Química pela Universidade do Porto em 2020. Atualmente lidera uma equipa de 7 investigadores e é coorientador de 2 alunos de doutoramento e esteve envolvido em mais de seis projetos de I&D nacionais e internacionais. Ele é considerado um especialista em soluções de processamento a laser, aumento de escala e industrialização para aplicações fotovoltaicas, com mais de 10 anos de experiência em I&D. As suas colaborações internacionais incluem parcerias com a EPFL (Suíça), Fraunhofer ISE (Alemanha), CNRS (França), Choose-URome



(Itália), entre outras. Foi o principal inventor de um processo patenteado de encapsulamento de células solares de perovskita, que foi vendido à Greatcell Solar por 5 milhões de euros. Em 2023, juntamente com Jorge Martins fundou a empresa Azure Photon. **Jorge Martins (Azure Photon)** obteve o grau de mestre em engenharia do ambiente pela FEUP em 2015. Foi membro de equipa em 7 projetos de I&D nacionais e internacionais em células solares sensibilizadas por corantes e perovskita. É autor de 10 artigos revistos por pares sobre estudos de estabilidade a longo prazo em células solares emergentes de terceira geração através da aplicação de encapsulamento hermético. Jorge co-inventou a patente mais cara vendida em Portugal sobre encapsulamento assistido por laser. Em 2023, juntamente com Seyedali Emami fundou a Azure Photon. **António Vilanova (Azure Photon)** Obteve o grau de Doutor em engenharia química e biológica de 2021 pela Universidade do Porto. Atualmente, trabalha como promotor de inovação na Capwatt (Maia, Portugal), empresa do Grupo Sonae, dedicando-se a projetos relacionados com a produção de bioetanol de segunda geração e comunidades de energia renovável. Especialista na área da produção de hidrogénio verde, avaliação do ciclo de vida, bioetanol, economia circular e estudos tecno-económicos, o Dr. Vilanova é o consultor da Azure Photon; a sua experiência e conhecimentos são de importância crucial para o desenvolvimento das atividades 3 e 5.

Dos projetos de I&D desenvolvidos previamente nas áreas de trabalho do PVBoost, destacam: **i) A400.** Implementação da Metodologia BIM - Mudança de paradigma de modelação e alteração fundamental dos processos de trabalho, Norte 2020, 2015-2017. **ii) A400.** Processo de Internacionalização - Implementação da Metodologia BIM, Norte 2020, 2016-2019. **iii) FEUP.** Baterias 2030, As baterias como elemento central para a sustentabilidade urbana, Agência Nacional de Inovação S.A., 2020-2023. **iv) FEUP.** Dimaond, Ultra-stable, highly efficient, low-cost perovskite photovoltaics with minimised environmental impact, COMISSÃO EUROPEIA, 2022-2025. **v) FEUP.** AET – Alliance for Energy Transition, PRR -Agência para a Competitividade e Inovação, I.P., 2022-2025. **vi) FEUP.** BlueWoodenHouse, Casa Modular em Madeira Grid-Off e de Baixo Consumo de Água, Agência Nacional de Inovação S.A., 2021-2023. **vii) Azure Photon.** LaserEncap – PULSATE Adopters’ Use Cases, Development of laser based advanced encapsulation for electronics, COMISSÃO EUROPEIA, 2023-2024. **viii) Azure Photon.** MicroGlass – PULSATE Expersssion of Interest, Short pulse laser for micro machining and welding of glass, COMISSÃO EUROPEIA, 2024.

Considera-se um consórcio completo aquele que inclui a “participação de entidades empresariais nas fases críticas da cadeia de valor dos produtos ou processos alvo do projeto e que constituam condição necessária à valorização eficaz dos resultados dos projetos de I&D”. O consórcio A400/FEUP/Azure Photon constitui um consórcio completo porque para além dos parceiros que realizam I&D (FEUP) integra empresas capazes de valorizar no mercado os resultados do projeto de I&D. A A400 e a Azure Photon irão explorar comercialmente os resultados da investigação, procurando lançar no mercado novos produtos. Embora este paradigma de atuação divirja do negócio principal da A400, que é a produção de projetos de estruturas de engenharia civil, enquadra-se na estratégia da empresa a médio e longo prazo, uma vez que concretiza a exploração de novos modelos de negócio que potenciem as competências internas e capital tecnológico da empresa.

Assim, com base na experiência e conhecimento adquiridos, os parceiros estão seguros de que os recursos técnicos e humanos envolvidos no projeto são adequados à execução das tarefas planeadas. As competências reunidas entre as três entidades contribuirão, no seu conjunto, para assegurarem a correta e eficaz resposta a todas as exigências científicas e tecnológicas. O consórcio apresenta a multidisciplinariedade e complementaridade necessárias à execução das diversas componentes do projeto, contribuindo significativamente para o estado da arte. Os diferentes setores de atuação, assim como os diversos projetos que cada um dos intervenientes tem vindo a desenvolver são considerados necessários e suficientes para cobrir as várias áreas

abrangidas do projeto PVBoost. No entanto, será necessário um grande esforço de entreajuda, que inequivocamente todas as entidades se apresentam disponíveis.

A A400, como entidade empresarial Líder explorará a valorização económica dos resultados decorrentes do projeto bem como a Azure Photon. O presente projeto demonstra-se crítico para a concretização dos seus objetivos de negócio, quer seja pelo impacto direto no volume de negócios, quer pelos objetivos de I&D da própria empresa para a exploração e desenvolvimento tecnológico e científico da solução. Pretende-se que no final deste projeto pioneiro a A400 seja líder do mercado construção em economia circular. Por outro lado, a FEUP, enquanto ENESII, irá beneficiar do conhecimento desenvolvido decorrente do projeto, possibilitando a publicação de artigos científicos e apresentação em diversas conferências, onde demonstrará ser detentora do conhecimento mais relevantes do estado da arte.

## 2.2. Identificação das Atividades

Nº da Atividade	Designação da Atividade	Classificação	Promotor responsável	
			Nº	Abreviatura
1	Estudos preliminares	Investigação Industrial	3	Azure Photon
2	Especificações técnicas	Investigação Industrial	1	A400
3	Aquisição e desenvolvimento de novos conhecimentos e capacidades	Investigação Industrial	2	FEUP
4	Desenvolvimento	Investigação Industrial	2	FEUP
5	Produção de protótipo e pré-séries	Desenvolvimento experimental	3	Azure Photon
6	Ensaio de protótipos e pré-séries	Investigação Industrial	1	A400
7	Divulgação, Promoção e Disseminação	Divulgação e Promoção	1	A400
8	Gestão de projeto	Gestão Técnica	1	A400

Este projeto está estruturado por atividades cujas tarefas estão planeadas num horizonte temporal, de modo a garantir que as tarefas asseguram os recursos e desenvolvimentos necessários à execução das tarefas subsequentes, perspetivando uma concretização geral de todos os objetivos do projeto.

As Atividades 1 a 6 do projeto têm como objetivo o desenvolvimento, colocação em estado funcional e teste em condições reais de operação, de módulos fotovoltaicos iPV para alimentação das pilhas de pequenos aparelhos eletrónicos; os ensaios piloto na Atividade 5 consistirão no desenvolvimento de protótipos baseados nos módulos iPV que se tenham revelado mais promissores na Atividade 4. A Atividade 7 diz respeito à promoção e disseminação dos resultados do projeto e estende-se, de forma continuada, entre o mês 6 e a data de fim do projeto. Neste caso, foi decidido pelos promotores que antes da data de início proposta para a atividade não haveria conteúdo de I&D suficiente que justificasse a realização de tarefas de disseminação. Finalmente, a Atividade 8 debruça-se sobre a gestão técnica do projeto e estender-se-á ao longo de toda a duração deste.

## 2.3. Descrição das Atividades

Nº de Atividade	Título da Atividade	
A1	Estudos preliminares	
	Data de início: 01/01/2025	Data de conclusão: 30/11/2027
<b>Objetivos da Atividade</b>		
Consolidar o levantamento do estado da arte no início do projeto e acompanhar novos desenvolvimentos, em termos de conhecimento científico, tecnológico e de comercialização de novos produtos, ao longo do período de execução.		

#### Descrição da Atividade

##### T1.1 – Levantamento e atualização do estado de arte

**Início:** 01-01-2025 | **Conclusão:** 31-12-2025

**Líder da Tarefa:** FEUP | **Participantes:** A400 e Azure Photon

**Descrição:** Esta tarefa inclui a atualização dos conhecimentos nas diferentes áreas relevantes para o projeto, complementando o estado de arte que foi anteriormente reportado. A pesquisa bibliográfica será realizada através de: i) consulta de artigos científicos, patentes, livros técnicos e comunicações em congressos e seminários, uma vez que a informação a recolher tem um carácter essencialmente científico; ii) consulta de empresas que comercializem produtos semelhantes e empresas da área do projeto com quem existem parcerias estabelecidas, nomeadamente Fraunhofer ISE (Uli Werful), Solaronix (Toby Meyer) e Solliance/IMEC (Tom Aernouts); iii) contactos com laboratórios de investigação líderes mundiais como EPFL (Michael Grätzel), Univ. Tor Vergata (Aldo di Carlo) e CNRS (Frédéric Sauvage).

##### T1.2 - Vigilância tecnológica

**Início:** 01-01-2025 | **Conclusão:** 30-11-2027

**Líder da Tarefa:** Azure Photon | **Participantes:** FEUP e A400

**Descrição:** O acompanhamento dos desenvolvimentos tecnológicos efetuados na área de atuação do projeto será efetuado através da monitorização de patentes e divulgações comerciais, ao longo de toda a duração do projeto. Desta forma garantir-se-á que os objetivos do projeto se mantêm atualizados face à concorrência. Sempre que necessário, esses objetivos serão reajustados, assegurando-se a competitividade das soluções propostas.

#### Esforço em ETI's (por promotor)

A400: 3,52 | FEUP: 4,94 | AzurePhoton: 7,01

#### Descrição dos entregáveis (deliverables) Descrição dos marcos (milestones)

##### Deliverables:

E1.1 – Documento contendo o resumo do estado da arte (M6, M12).

E1.2 – Relatório com a vigilância tecnológica e científica (M12, M24, M35).

##### Milestones:

M1 – Relatório com a vigilância tecnológica e científica (M24)

Nº de Atividade	Título da Atividade	
A2	Especificações técnicas	
	Data de início: 01/01/2025	Data de conclusão: 30/09/2026
<b>Objetivos da Atividade</b>		
i) Especificação das dimensões dos módulos iPV; ii) Especificação da durabilidade e desempenho energético dos módulos iPV; iii) Seleção e definição dos materiais a utilizar, nomeadamente dos substratos de vidro, cores dos corantes e cristais da perovskita; iv) Especificações das baterias a usar em combinação com os módulos iPV; v) Análise de mercado.		
<b>Descrição da Atividade</b>		
<b>T2.1. – Seleção aparelhos e especificação módulos</b>		
<b>Início:</b> 01-01-2025   <b>Conclusão:</b> 30-08-2025		
<b>Líder da Tarefa:</b> A400   <b>Participantes:</b> FEUP e Azure Photon		
<b>Descrição:</b> Tendo por base uma lista de possíveis aparelhos elétricos / eletrónicos que usam baterias (e que incluem entre outros, interruptores elétricos sem fios, sensores de temperatura, sensores de humidade, balanças – ver Tabela 3) a empresa A400, baseada numa análise de mercado detalhada, e com apoio do consultor externo (Diogo Drumond), determinará quais destes aparelhos eletrónicos requerem mudanças mais frequentes de		

bateria e quais têm maiores gastos económicos associados; serão ainda selecionados os aparelhos cuja introdução de módulos iPV terá maior impacto na perceção positiva do cliente. Tendo por base a lista dos aparelhos selecionados, a empresa A400 apresentará soluções ao nível do design que permitam incluir os módulos iPV nesses aparelhos, e definirá as correspondentes dimensões, cores e outros aspetos estéticos.

#### **T2.2. – Seleção dos conjuntos bateria/módulo**

**Início:** 01-02-2025 | **Conclusão:** 31-08-2025

**Líder da Tarefa:** A400 | **Participantes:** FEUP e Azure Photon

**Descrição:** A empresa A400 especificará o tempo de vida destes aparelhos necessário para garantir a rentabilização dos módulos iPV. Dependendo das especificações das baterias originalmente instaladas nos diferentes aparelhos, a FEUP e a A400, tendo em conta o design do módulo e as especificações de baterias disponíveis no mercado, irão selecionar o melhor conjunto bateria/módulos iPV, para usar nos aparelhos definidos na tarefa 2.1.

#### **T2.3. – Seleção e definição dos materiais**

**Início:** 01-07-2025 | **Conclusão:** 30-04-2026

**Líder da Tarefa:** FEUP | **Participantes:** A400 e Azure Photon

**Descrição:** Tendo em consideração as especificações definidas em T2.1 e T2.2, a FEUP irá propor à Azure Photon para a desenvolver a manufatura dos módulos iPV, a melhor combinação de materiais e reagentes a usar, nomeadamente: tipos de substratos de vidro; tipo de pasta de  $\text{TiO}_2$ ; materiais para contra-elétrodo, eletrólitos, HTLs, composição da perovskita, corantes, tipo de pasta de vidro para a selagem e contactos elétricos, entre outros.

#### **T2.4 – Estudo de mercado**

**Início:** 01-01-2026 | **Conclusão:** 30-09-2026

**Líder da Tarefa:** Azure Photon | **Participantes:** A400 e FEUP

**Descrição:** A Azure Photon, em colaboração com a A400, realizará um estudo de mercado para selecionar, de entre os materiais recomendados pela FEUP, quais aqueles com a melhor relação custo/qualidade e que sejam passíveis de ser usados na produção em série.

##### **Esforço em ETI's (por promotor)**

A400: 9,49 | FEUP: 5,91 | AzurePhoton: 3,81

##### **Descrição dos entregáveis (deliverables) Descrição dos marcos (milestones)**

##### **Deliverables:**

E2.1 – Relatório com a seleção aparelhos e especificação módulos e dos conjuntos bateria/módulos (M8)

E2.2 – Relatório com a definição dos materiais (M16)

E2.3 – Relatório com o estudo de mercado (M22)

##### **Milestones:**

M2 – Relatório técnico-económico dos materiais para iPV (M22)

Nº de Atividade	Título da Atividade	
A3	Aquisição e desenvolvimento de novos conhecimentos e capacidades	
	Data de início: 01/01/2025	Data de conclusão: 31/12/2026
<b>Objetivos da Atividade</b>		
i) Desenho, preparação e otimização do módulo iPV; ii) Caracterização, em condições controladas e reais, do módulo otimizado iPV; iii) Desenvolvimento do processo de encapsulação a vidro assistido a laser de substratos de vidro com < 1.0 mm de espessura e de vidro; iv) Anteprojeto de uma unidade de produção em série dos módulos iPV.		
<b>Descrição da Atividade</b>		

### **T3.1. – Preparação e otimização do módulo iPV**

**Início:** 01-01-2025 | **Conclusão:** 30-09-2026

**Líder da Tarefa:** FEUP

**Descrição:** Usando métodos de otimização numérica (COMSOL Multiphysics; [www.comsol.com](http://www.comsol.com)), a FEUP irá realizar um estudo de otimização da estrutura dos módulos de modo a otimizar os seguintes parâmetros: i) corrente e tensão no ponto de máxima eficiência  $P_{max}$ ; ii) número de células por módulo e; iii) área ativa. Após esta otimização, proceder-se-á à fabricação dos módulos usando o método de selagem assistido por laser. Também a fabricação será alvo de otimização com vista a maximizar a fiabilidade e minimizar as etapas de produção.

### **T3.2. – Caracterização fotovoltaica dos módulos**

**Início:** 01-01-2025 | **Conclusão:** 30-09-2026

**Líder da Tarefa:** FEUP | **Participantes:** A400 e Azure Photon

**Descrição:** Os parâmetros fotovoltaicos ( $J_{sc}$ ,  $V_{oc}$ ,  $Mpp$ ,  $FF$ ) dos módulos produzidos serão caracterizados em condições padrão sob luz interior (IEC TS 62607-7-2). Caso os parâmetros obtidos não satisfaçam os critérios de qualidade pré-definidos, será feita uma correção iterativa no processo de otimização numérica até que os parâmetros experimentais mínimos exigíveis sejam obtidos. A FEUP irá construir, com o apoio técnico da Azure Photon, uma câmara para testar os módulos iPV em condições variadas de luz artificial (LED, fluorescente, halogénio), normalmente usadas em escritórios e compartimentos habitacionais e capazes de emitir um fluxo de luz entre 50 e 1000 Lux; dessa câmara farão parte um aparelho de medição da intensidade da luz (Lux meter); controlador de temperatura e medidor J-V.

O módulo iPV será também testado relativamente à sua estabilidade. Assim, o módulo iPV desenvolvido será testado durante 1000 h em condições de envelhecimento acelerado. No final, a perda de eficiência não poderá ser superior a 10 %.

### **T3.3. – Desenvolvimento de módulos finos**

**Início:** 01-01-2026 | **Conclusão:** 31-12-2026

**Líder da Tarefa:** FEUP | **Participantes:** A400 e Azure Photon

**Descrição:** A FEUP vai desenvolver a tecnologia para produzir módulos iPV finos ( $< 1.5$  mm) para permitir uma maior facilidade de incorporação em aparelhos eletrónicos de grande consumo e valor acrescentado como comandos à distância, telemóveis e tablets. Para este fim, a FEUP vai precisar de desenvolver a selagem de vidro ultra-fino assistida a laser e de desenvolver o processo de deposição sobre estes substratos de um filme de TCO – óxido condutor transparente. Este desenvolvimento exigirá a otimização de todos os parâmetros envolvidos no processo, nomeadamente: tipo de pasta de vidro; espessura das pastas de vidro; temperatura de processamento; potência do laser e; velocidade de selagem, no que diz respeito à selagem; no que diz respeito à deposição do filme de TCO será investigado e otimizado o método de pulverização pirolítica e pulverização catódica disponíveis. Este trabalho, de carácter mais exploratório, pretende lançar as bases para um trabalho futuro que nos poderá permitir abrir as portas para um mercado extremamente grande e atrativo como é o mercado dos dispositivos móveis portáteis.

### **T3.4. – Anteprojeto de unidade de fabricação em série**

**Início:** 01-01-2026 | **Conclusão:** 31-12-2026

**Líder da Tarefa:** Azure Photon | **Participantes:** A400 e FEUP

**Descrição:** A manufatura dos protótipos dos módulos de iPV será realizada pela FEUP numa linha de montagem, essencialmente manual. Na perspetiva de uma grande aceitação do PVBoost, urge fazer o anteprojeto de uma unidade de fabricação em série de módulos iPV. Dado já existirem algumas linhas de montagem, nomeadamente os promotores visitaram a linha de montagem das empresa H.Glass e Solaires Entreprises, o anteprojeto será baseado no

conhecimento dessas linhas de montagem, mas também nas necessidades específicas do produto a ser produzido pela FEUP, que tem desenvolvido especificações e processos de fabrico diferentes dos concorrentes. Para as etapas diferentes serão identificadas as especificações dos equipamentos necessários, potenciais fornecedores e preços aproximados. No final, deverá ser proposto um anteprojeto de uma unidade de produção de módulos iPV com uma capacidade de 2000 m<sup>2</sup>/ano, incluindo equipamentos necessários e especificações técnicas dos mesmos, fornecedores potenciais e preços. Será ainda estimado o custo de produção de cada módulo iPV e o EROI – *energy return of investment*.

#### Esforço em ETI's (por promotor)

A400: 5,21 | FEUP: 39,75 | AzurePhoton: 4,66

#### Descrição dos entregáveis (deliverables) Descrição dos marcos (milestones)

##### Deliverables:

E3.1 – Relatório da preparação e otimização do módulo iPV (M12, M21).

E3.2 – Relatório descritivo dos ensaios de caracterização fotovoltaica dos módulos (M21)

E3.3 – Relatório com o anteprojeto de unidade de fabricação (M24)

##### Milestones:

M3 – Módulo iPV com PCE em condições de luz interior > 20 % (M16)

M4 – Módulo iPV até 50 cm<sup>2</sup> selado hermeticamente e estável; perda da eficiência inferior a 10 % (M21);

M5 – Encapsulamento assistido a laser, com selagem a vidro, de substratos de vidro finos; a célula assim selada deverá passar as normas MIL-STD-883 (M24).

Nº de Atividade	Título da Atividade	
A4	Desenvolvimento	
	Data de início: 01-03-2025	Data de início: 31-10-2027
<b>Objetivos da Atividade</b>		
i) Otimização da manufatura dos módulos iPV; otimização da fiabilidade do processo de fabrico; ii) Definição do protocolo de construção e controlo de qualidade; iii) Definição do protocolo de caracterização da durabilidade e da eficiência energética; iv) Avaliação de desempenho dos módulos de iPV; v) Simulação do funcionamento e do desempenho das células e dos módulos.		
<b>Descrição da Atividade</b>		
<b>T4.1. – Otimização do processo de encapsulamento hermético</b> <b>Início:</b> 01-03-2025   <b>Conclusão:</b> 31-12-2026 <b>Líder da Tarefa:</b> FEUP   <b>Participantes:</b> Azure Photon <b>Descrição:</b> Esta tarefa é dedicada à otimização da técnica de encapsulamento assistido a laser com o objetivo de obter um encapsulamento fiável e de baixo custo – seleção das pastas de vidro, temperatura de processo e velocidade de selagem – dos módulos iPV. Estes módulos serão caracterizados pelo número de células individuais e pelo tipo de ligação elétrica das células, os quais exigirão a otimização do processo de encapsulamento assistido a laser nos seguintes parâmetros: temperatura de processo (< 120 °C), potência do laser, padrão do raio laser e a velocidade de selagem. Estes parâmetros de selagem serão otimizados de modo a obterem-se dispositivos encapsulados hermeticamente com uma reprodutibilidade > 95 %.		
<b>T4.2. – Desenvolvimento de protocolo de produção</b> <b>Início:</b> 01-01-2026   <b>Conclusão:</b> 31-12-2026 <b>Líder da Tarefa:</b> FEUP   <b>Participantes:</b> A400 e Azure Photon <b>Descrição:</b> Desenvolvimento de um protocolo detalhado para produção dos módulos iPV desenvolvidos na Atividade 3. Para cada fase da produção, o protocolo deverá incluir as		



condições detalhadas de produção bem como os critérios a usar para aferir a qualidade dessa mesma produção. O protocolo incluirá a etapa de preparação dos substratos de vidro para a fabricação de iPV. A preparação do substrato inclui a limpeza por ultra-sons e UV-Ozono, tratamento por plasma e a marcação a laser. Seleção da composição da frita de vidro e dos parâmetros de selagem a laser - temperatura do processo, potência e velocidade do laser.

O protocolo de preparação de DSSCs poderá incluir perfuração dos orifícios para injeção de eletrólito; deposição das pastas de vidro e condições de sinterização; condições para a deposição do fotoânodo e do contra-eléctrodo; procedimento de injeção dos corantes (incluindo corantes de diferentes cores); e formulação do eletrólito. Nas PSCs, o protocolo deverá ter condições para a deposição de TiO<sub>2</sub> compacto por pulverização pirolítica e da camada ETL (SnO<sub>x</sub>, TiO<sub>2</sub>) por revestimento por rotação/impressão por jato de tinta; composição da de perovskita e condições de deposição da mesma, da camada de passivação (PEAI) e da camada de HTL (spiro/PTAA) e os parâmetros da deposição por evaporação térmica do contra-eléctrodo metálico ou contra-eléctrodo de carbono por revestimento de lâmina.

#### T4.3 – Avaliação de desempenho dos módulos

**Início:** 01-01-2026 | **Conclusão:** 31-10-2027

**Líder da Tarefa:** FEUP | **Participantes:** A400 e Azure Photon

**Descrição:** Para determinar a durabilidade do encapsulamento dos módulos e a estabilidade dos seus parâmetros fotoeléctricos, os módulos serão sujeitos a vários testes padrão de acordo com protocolos ISOS, incluindo ciclos térmicos, testes de calor e humidade, entre outros. Para determinar a durabilidade da selagem e a estabilidade da eficiência, os módulos iPV serão primeiro sujeitos aos testes normalizados de envelhecimento durante 1000 h seguidos de análise da sua eficiência fotovoltaica sob luz artificial. Em testes de envelhecimento acelerado, os módulos iPV produzidos deverão manter 90 % da sua eficiência fotovoltaica inicial após 1000 h a fornecer continuamente a sua potência fotovoltaica máxima e nenhuma perda de hermeticidade do encapsulamento.

##### **Esforço em ETI's (por promotor)**

A400: 4,98 | FEUP: 29,31 | AzurePhoton: 2,16

##### **Descrição dos entregáveis (deliverables) Descrição dos marcos (milestones)**

##### **Deliverables:**

E4.1 – Relatório com os resultados do processo de encapsulamento hermético (M12, M24)

E4.2 – Documento descritivo do desenvolvimento de protocolo de produção (M24)

E4.3 – Relatório com avaliação de desempenho dos módulos (M24, M34)

##### **Milestones:**

M6 – Reprodutibilidade de > 95 % da selagem assistida a laser dos dispositivos iPV; i.e, em 100 dispositivos selados, mais de 95 deverão passar o teste de permeabilidade ao hélio - MIL-STD-883 (M26);

M7 – Os módulos iPV produzidos deverão manter 90 % da sua eficiência fotovoltaica inicial, após 1000 h de operação de acordo com os protocolos ISOS-L-1, e nenhuma perda de hermeticidade do encapsulamento (M34).

Nº de Atividade	Título da Atividade	
A5	Produção de protótipos e pré-séries	
	Data de início: 01-08-2026	Data de conclusão: 30-11-2027
<b>Objetivos da Atividade</b>		
i) Manufatura dos módulos de iPV;		
ii) Incorporação dos módulos de iPV nos dispositivos seleccionados e avaliação de desempenho;		
iii) Avaliação económica;		

iv) Elaboração de um Manual de Utilização.

#### Descrição da Atividade

##### T5.1. – Manufatura dos módulos

**Início:** 01-08-2027 | **Conclusão:** 30-06-2027

**Líder da Tarefa:** Azure Photon | **Participantes:** A400 e FEUP

**Descrição:** A manufatura dos módulos iPV serão realizados usando os materiais e procedimentos desenvolvidos na Atividade 4. Serão fabricados o número de módulos necessários a equipar os dispositivos elétricos/eletrónicos selecionados. Todos os módulos deverão passar por um controlo de qualidade. Será controlado, i) a aparência visual e; ii) a curva i-V e a eficiência em condições padrão.

##### T5.2. – Incorporação dos módulos nos dispositivos

**Início:** 01-11-2026 | **Conclusão:** 31-08-2027

**Líder da Tarefa:** Azure Photon | **Participantes:** A400 e FEUP

**Descrição:** A incorporação dos módulos iPV nos dispositivos selecionados deverá compreender os seguintes passos: i) identificação das necessidades de potência e de diferença de potencial – estas necessidades indicarão o número de módulos a usar, as especificações do conversor DC-DC, as especificações da bateria a usar; ii) projeto estético da incorporação dos módulos; iii) adaptação do dispositivo que vai receber os módulos iPV, incluindo manufatura de partes necessárias; e.g. impressão 3D com polímero de um novo botão para receber um módulo iPV a ser incorporado num interruptor elétrico sem fios; iv) definição das cores dos módulos iPV a serem usados; v) incorporação dos módulos iPV nos dispositivos selecionados e; vi) controlo de qualidade. Para testar o benefício dos painéis fotovoltaicos iPV quando incorporados nos vários dispositivos, a bateria destes será retirada e substituída por um condensador que armazene uma quantidade mínima de energia, mas suficiente para suprir os transientes de potência solicitados pelo dispositivo. Nestas condições será possível testar o funcionamento das células incorporadas e da potência (área) total o número de módulos iPV considerados.

##### T5.3. – Avaliação económica

**Início:** 01-11-2026 | **Conclusão:** 30-11-2027

**Líder da Tarefa:** A400 | **Participantes:** Azure Photon e FEUP

**Descrição:** Avaliação do custo de produção dos módulos iPV e comparação com os preços concorrentes e com o que o mercado está disponível a pagar. Identificação dos dispositivos elétricos / eletrónicos com mais potencial económico para receberem os módulos iPV.

##### T5.4. – Manual de utilização

**Início:** 01-03-2027 | **Conclusão:** 30-11-2027

**Líder da Tarefa:** A400 | **Participantes:** FEUP e Azure Photon

**Descrição:** Elaboração de um manual de utilização dos módulos iPV, incluindo especificações técnicas.

#### Esforço em ETI's (por promotor)

A400: 7,19 | FEUP: 4,93 | AzurePhoton: 13,66

#### Descrição dos entregáveis (deliverables) Descrição dos marcos (milestones)

##### Deliverables:

E5.1 – Relatório de controlo de qualidade dos módulos produzidos e da incorporação dos módulos nos dispositivos (M32)

E5.2 – Relatório descritivo do estudo económico (M35)

E5.3 – Manual de utilização (M35)

##### Milestones:

M8 – Os dispositivos elétricos/eletrónicos modificados com os módulos iPV deverão funcionar tão bem como dispositivos de referência não modificados e a potência dos módulos iPV

incorporados deverão ser suficientes para uma operação normal dos dispositivos selecionados (M32).

Nº de Atividade	Título da Atividade	
A6	Ensaio de protótipos e pré-séries	
	Data de início: 01-03-2027	Data de conclusão: 31-12-2027
<b>Objetivos da Atividade</b>		
O principal objetivo desta atividade é a monitorização e avaliação de desempenhos dos protótipos		
<b>Descrição da Atividade</b>		
<p><b>T6.1. – Monitorização e avaliação de desempenho</b>  <b>Início:</b> 01-03-2027   <b>Conclusão:</b> 31-12-2027  <b>Líder da Tarefa:</b> A400   <b>Participantes:</b> FEUP e Azure Photon  <b>Descrição:</b> Os dispositivos elétricos / eletrónicos modificados com a incorporação dos módulos iPV serão colocados num hotel e o seu desempenho acompanhado durante pelo menos 6 meses. Será avaliado: i) a sua funcionalidade; ii) a potência produzida pelo módulo nas condições de operação; iii) a eficiência de conversão de energia dos módulos, antes e após o ensaio, em condições de referência. A eficiência medida em condições de referência no final do ensaio deverá ser igual à inicial, a menos do erro do método, ou seja, com uma diferença não superior a 1 %. Para além disso, o PVBoost desenvolverá um conjunto de soluções inovadoras de monitorização, das quais se destaca: 1) Um sistema de alerta automatizado baseado em sensores para informar os ocupantes dos edifícios sobre a qualidade do ar interior (IEQ). Os algoritmos de alerta serão treinados para diferentes níveis de partes interessadas. Para os ocupantes pertencentes a grupos vulneráveis será desenvolvido um sistema de notificação usando uma escala de cores.; 2) Uma ferramenta de simulação Digital Building Twin (DBT), isto é, uma representação virtual em tempo real do edifício que integra sistemas de monitorização e necessidades de adaptação específicas do ocupante, utilizando técnicas de Machine Learning e dados do Copernicus Climate Data Store, bem como vários alertas de risco em função das alterações climáticas.</p> <p><b>T6.2. – Certificação dos módulos iPV para uso em dispositivos elétricos / eletrónicos</b>  <b>Início:</b> 01-03-2027   <b>Conclusão:</b> 31-12-2027  <b>Líder da Tarefa:</b> A400   <b>Participantes:</b> FEUP e Azure Photon  <b>Descrição:</b> Os módulos iPV serão submetidos aos ensaios necessários para a sua certificação para uso em dispositivos elétricos / eletrónicos, nomeadamente em termos de especificações de potência produzida e segurança. As normas relevantes para a certificação serão identificadas e as instituições com poder para as fazer serão sub-contratadas pela empresa A400.</p>		
<b>Esforço em ETI's (por promotor)</b>		
A400: 14,82   FEUP: 4,96   AzurePhoton: 1,71		
<b>Descrição dos entregáveis (deliverables) Descrição dos marcos (milestones)</b>		
<p><b>Deliverables:</b>  E6.1 – Relatório com os resultados de monitorização e avaliação de desempenho (M36).  E6.2 – Relatório de certificação dos módulos iPV para uso em dispositivos elétricos / eletrónicos (M36).</p> <p><b>Milestones:</b>  M9 – O desempenho energético dos módulos iPV deverá permanecer inalterado durante os ensaios de campo, com duração de pelo menos 1 mês (M36)</p>		

Nº de Atividade	Título da Atividade	
A7	Divulgação, Promoção e Disseminação	
	Data de início: 01-01-2025	Data de conclusão: 31-12-2027
<b>Objetivos da Atividade</b>		
O objetivo da presente atividade será o de garantir a adequada gestão do projeto, quer do ponto de vista técnico-científico quer administrativo-financeiro. Serão assim levadas a cabo um conjunto de ações com objetivo de garantir o cumprimento dos objetivos definidos bem como de todos os requisitos definidos pela entidade gestora.		
<b>Descrição da Atividade</b>		
<p><b>T7.1 - Disseminação de conhecimento e resultados do projeto junto da comunidade científica</b>  <b>Início:</b> 01-06-2025   <b>Conclusão:</b> 31-12-2027  <b>Líder da Tarefa:</b> FEUP   <b>Participantes:</b> A400 e Azure Photon  <b>Descrição:</b> A disseminação dos resultados do projeto será realizada em congressos, conferências, seminários e feiras e exposições tecnológicas. Esta visibilidade possibilitará também identificar potenciais parceiros de I&amp;D futuros, contactar com novos mercados e com novas oportunidades tecnológicas. Desta forma, a presença neste tipo de eventos será incentivada a todas as entidades da equipa do projeto. Entre outras, estão previstas as seguintes atividades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Publicações ≥ 3 artigos em revistas nacionais e internacionais em jornais Open Access;</li> <li>- Teses de Mestrado ou Doutoramento;</li> <li>- Submissão de uma patente, caso seja desenvolvido um produto e/ou processo com carácter inovador que o justifique;</li> <li>- Divulgação dos resultados em conferências da área, como por exemplo: EMRS – Conferência da European Materials Research Society; EU-PVSEC – European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition; HOPV - nternational Conference on Hybrid and Organic Photovoltaics.</li> </ul> <p><b>T7.2 – Divulgação dos resultados do projeto junto do sector utilizador final ou empresas alvo</b>  <b>Início:</b> 01-01-2026   <b>Conclusão:</b> 31-12-2027  <b>Líder da Tarefa:</b> A400   <b>Participantes:</b> FEUP e Azure Photon  <b>Descrição:</b> A divulgação dos resultados do projeto será também realizada junto do sector utilizador final ou empresas alvo e feiras. A preparação do mercado para as tecnologias em estudo é fundamental para o sucesso das estratégias de comercialização que venham a ser desenhadas no futuro. A execução desta tarefa será liderada pela A400, com acompanhamento e apoio por parte dos restantes promotores. Está prevista a participação da A400 numa feira internacional International, como por exemplo “SolarEX – Solar Energy &amp; Technologies”, etc – a ser definida mais tarde.</p> <p><b>T7.3 – Registo da propriedade intelectual</b>  <b>Início:</b> 01-06-2026   <b>Conclusão:</b> 31-10-2026  <b>Líder da Tarefa:</b> FEUP   <b>Participantes:</b> A400 e Azure Photon  <b>Descrição:</b> Para garantir a publicação de uma patente de forma consistente e viável, é essencial realizar uma constante monitorização das patentes já publicadas e adequar/adaptar essas ações aos desenvolvimentos que vão sendo alcançados ao longo da duração do projeto. Assim, as atividades relacionadas com a monitorização e defesa de propriedade intelectual realizar-se-ão essencialmente a dois níveis: i) pesquisa de patentes relevantes e estudos de patenteabilidade dos desenvolvimentos realizados no âmbito do projeto; ii) escrita e submissão de patentes baseadas em conhecimento gerado no âmbito do projeto. Os direitos da propriedade intelectual estão previstos no contrato de consórcio.</p> <p><b>T7.4 – “Website”</b></p>		

**Início:** 01-01-2025 | **Conclusão:** 31-12-2027

**Líder da Tarefa:** Azure Photon | **Participantes:** A400 e FEUP

**Descrição:** Uma Website será construída e disponibilizada após o início do projeto. Esta Website servirá para comunicar, com o público, em geral os principais resultados e avanços do projeto, enquanto a área privada da Website servirá para comunicação interna e como repositório de atas, relatórios e artigos científicos. Os artigos científicos resultantes do projeto também serão disponibilizados ao público em geral após o período de embargo.

#### **T7.5 – Organização de seminário/workshop de projeto**

**Início:** 01-01-2025 | **Conclusão:** 31-12-2027

**Líder da Tarefa:** A400 | **Participantes:** FEUP e Azure Photon

**Descrição:** Nesta tarefa está assegurada a organização de seminários de projeto (1 por ano) que servirão para promover e divulgar os desenvolvimentos do projeto. Prevê ainda um seminário final em que os resultados finais, incluindo a execução financeira do projeto, será apresentada junto da administração da A400.

#### **Esforço em ETI's (por promotor)**

A400: 6,59 | FEUP: 7,22 | AzurePhoton: 6,36

#### **Descrição dos entregáveis (deliverables) Descrição dos marcos (milestones)**

##### **Deliverables:**

E7.1 – Relatório da disseminação dos resultados do projeto junto da comunidade científica (M21, M36)

E7.2 – Relatórios de participação em feiras/exposições para promoção das soluções desenvolvidas (M36)

E7.3 – Relatórios de avaliação de propriedade intelectual (M34)

E7.4 – Relatório do Seminário/Workshop (M12, M24)

##### **Milestone:**

M10 – Criação do “Website” (M6)

M11 – Organização de workshop técnico-comercial orientado à promoção das soluções desenvolvidas: Análise documental/participação (M36)

Nº de Atividade	Título da Atividade	
A8	Gestão do Projeto	
	Data de início: 01-01-2025	Data de conclusão: 31-12-2027
<b>Objetivos da Atividade</b>		
O objetivo da presente atividade será o de garantir a adequada gestão do projeto, quer do ponto de vista técnico-científico quer administrativo-financeiro. Serão assim levadas a cabo um conjunto de ações com objetivo de garantir o cumprimento dos objetivos definidos bem como de todos os requisitos definidos pela entidade gestora.		
<b>Descrição da Atividade</b>		
<b>Tarefa 8.1 – Gestão do projeto</b>		
<b>Início:</b> 01-01-2025   <b>Conclusão:</b> 31-12-2027		
<b>Líder da Tarefa:</b> A400   <b>Participantes:</b> FEUP e Azure Photon		
<b>Descrição:</b> A presente tarefa contempla as ações necessárias para assegurar a gestão técnica e administrativa-financeira do projeto. Para o efeito, serão estabelecidas metodologias necessárias para garantir a monitorização adequada do projeto, nomeadamente do plano de atividades, deliverables/milestones assim como orçamento e gestão de riscos. A tarefa contempla igualmente as ações necessárias para a gestão e acompanhamento administrativo-financeiro do projeto de forma cumprir com os requisitos definidos pela entidade gestora.		
<b>Esforço em ETI's (por promotor)</b>		
A400: 6,50   FEUP: 5,92   AzurePhoton: 3,53		

Descrição dos entregáveis (deliverables)	Descrição dos marcos (milestones)
<b>Deliverables:</b>	
E8.1 – Relatórios de execução técnica e financeira do projeto semestrais (M6, M12, M18, M24, M32, M36).	
E8.2 – Atas das reuniões semestrais de acompanhamento de progresso (M6, M12, M18, M24, M32, M36).	

#### 2.4. Quadro resumo dos entregáveis (deliverables)

Nº do Entregável	Nº da Atividade	Título do Entregável	Data Entrega (Mês 0+N)	Promotor responsável		Tipo de Entregável	Nível de Divulgação
				Nº	Abreviatura		
E1.1	A1	Documento contendo o resumo do estado da arte	M6, M12	2	FEUP	Documento	Público
E1.2	A1	Relatório com a vigilância tecnológica e científica	M12, M24, M35	3	Azure Photon	Relatório	Público
E2.1	A2	Relatório com a seleção aparelhos e especificação módulos e dos conjuntos bateria/módulos	M8	1	A400	Relatório	Confidencial
E2.2	A2	Relatório com a definição dos materiais	M16	2	FEUP	Relatório	Confidencial
E2.3	A2	Relatório com o estudo de mercado	M22	3	Azure Photon	Relatório	Confidencial
E3.1	A3	Relatório da preparação e otimização do módulo iPV	M12, M21	2	FEUP	Relatório	Confidencial
E3.2	A3	Relatório descritivo dos ensaios de caracterização fotovoltaica dos módulos	M21	1	A400	Relatório	Confidencial
E3.3	A4	Relatório com o anteprojecto de unidade de fabricação	M24	3	Azure Photon	Relatório	Confidencial
E4.1	A4	Relatório com os resultados do processo de encapsulamento hermético	M12, M24	2	FEUP	Relatório	Confidencial
E4.2	A4	Documento descritivo do desenvolvimento de protocolo de produção	M24	2	FEUP	Documento	Confidencial
E4.3	A4	Relatório com avaliação de desempenho dos módulos	M24, M34	2	FEUP	Relatório	Confidencial
E5.1	A5	Relatório de controlo de qualidade dos módulos produzidos e da incorporação dos módulos nos dispositivos	M32	3	Azure Photon	Relatório	Confidencial
E5.2	A5	Relatório descritivo do estudo económico	M35	1	A400	Relatório	Confidencial
E5.3	A5	Manual de utilização	M35	1	A400	Manual	Público
E6.1	A6	Relatório com os resultados de monitorização e avaliação de desempenho	M36	1	A400	Relatório	Confidencial
E6.2	A6	Relatório de certificação dos módulos iPV para uso em dispositivos eléctricos / electrónicos	M36	1	A400	Relatório	Confidencial
E7.1	A7	Relatório da disseminação dos resultados do projeto junto da comunidade científica	M21, M36	2	FEUP	Relatório	Público
E7.2	A7	Relatórios de participação em feiras/exposições para promoção das soluções desenvolvidas	M36	1	A400	Relatório	Público
E7.3	A7	Relatórios de avaliação de propriedade intelectual (M34)	M34	2	FEUP	Relatório	Confidencial
E7.5	A7	Relatório do Seminário/Workshop	M12, M24	1	A400	Relatório	Público
E8.1	A8	Relatórios de execução técnica e financeira do projeto semestrais	M6, M12, M18, M24, M32, M36	1	A400	Relatório	Confidencial



E8.1	A8	Atas das reuniões semestrais de acompanhamento de progresso	M6, M12, M18, M24, M32, M36	1 – A400	Relatório	Confidencial
------	----	---	-----------------------------	----------	-----------	--------------

## 2.5. Quadro resumo dos marcos (milestones)

Nº do Marco/ Milestone	Nº da Atividade	Data Entrega (Mês O+N)	Título do Marco/Milestone	Meios de Verificação (deve ser possível quantificar)
M1	A1	M24	Relatório com a vigilância tecnológica e científica	Relatório
M2	A2	M22	Relatório técnico-económico dos materiais para iPV	Relatório
M3	A3	M16	Módulo iPV com PCE em condições de luz interior > 20 %	Medição de PCE
M4	A3	M21	Módulo iPV até 50 cm <sup>2</sup> selado hermeticamente e estável; perda da eficiência inferior a 10 %	Tamanho e deverá passar a norma MIL-STD-883.
M5	A3	M26	Encapsulamento assistido a laser, com selagem a vidro, de substratos de vidro finos; a célula assim selada deverá passar as normas MIL-STD-883.	Teste de permeabilidade ao hélio (norma MIL-STD-883)
M6	A4	M24	Reprodutibilidade de > 95 % da selagem assistida a laser dos dispositivos iPV; i.e, em 100 dispositivos selados, mais de 95 deverão passar o teste de permeabilidade ao hélio - MIL-STD-883	Taxa de reprodução e Teste de permeabilidade ao hélio (norma MIL-STD-883)
M7	A4	M34	Os módulos iPV produzidos deverão manter 90 % da sua eficiência fotovoltaica inicial, após 1000 h de operação de acordo com os protocolos ISOS-L-1, e nenhuma perda de hermeticidade do encapsulamento.	Protocolo ISOS-L-1 – Figura de Mérito T90 (tempo decorrido durante a teste de envelhecimento para atingir 90 % da eficiência inicial)
M8	A5	M32	M8 – Os dispositivos elétricos/eletrónicos modificados com os módulos iPV deverão funcionar tão bem como dispositivos de referência não modificados e a potência dos módulos iPV incorporados deverão ser suficientes para uma operação normal dos dispositivos selecionados.	Quantificação dos períodos de inoperacionalidade em comparação com a referência
M9	A6	M36	O desempenho energético dos módulos iPV deverá permanecer inalterado durante os ensaios de campo, com duração de pelo menos 1 mês.	Medição de PCE e potência produzida
M10	A7	M6	Criação do “Website” (M6)	Disponibilizar o Website online
M11	A7	M36	Organização de workshop técnico-comercial orientado à promoção das soluções desenvolvidas: Análise documental/participação (M36)	Relatório documental e analítico da execução do Workshop

## 2.6. Descrição dos riscos críticos para a implementação do Projeto

Evento de risco Técnico-científico e/ou de Gestão do projeto	Descrição do evento	Atividade(s) associada(s)	Probabilidade de ocorrência (1-Baixa a 5-Elevada)	Impacto na concretização da(s) atividade(s)	Medidas mitigação planeadas
Técnico-científico	Módulo de iPV não atinge a eficiência esperadas	3, 4 e 5	3	A menor eficiência dos módulos iPV traduzirá numa menor potência produzida que limitará o número de aparelhos eletrónicos na qual os módulos iPV podem ser integrados.	A grande experiência do parceiro FEUP permite-lhe ter segurança em que este objetivo seja cumprido. Caso contrário, recorrerá das parcerias internacionais para apoio, nomeadamente do Prof. Michael Grätzel (EPFL) e do Prof. Frédéric Sauvage (CNRS UMR7314). Serão usados novos materiais, e será investido mais tempo na redução das resistências óhmicas.
Técnico-científico	Estabilidade dos módulos iPV	3, 4 e 5	1	Os módulos não passam os testes normalizados de envelhecimento e estabilidade estabelecidos no projeto. Não é garantida a hermeticidade e tempo de vido útil > 20 anos.	A grande experiência da FEUP permite-lhe ter confiança que atingirá este objetivo. A estabilidade está sobretudo ligada à encapsulação a vidro. Se não for possível obter uma selagem reprodutível será aumentada a temperatura do processo ou testada a soldadura a vidro por termocompressão.
Técnico-científico	Selagem a vidro dos substratos finos	3, 4 e 5	4	A elevada espessura dos módulos torna mais complexo a integração dos iPV nos aparelhos eletrónicos e requererá mais moldes mais complexos e volumosos.	Esta área é completamente nova para o consórcio e a nível mundial. O êxito da sua execução assenta na grande experiência da FEUP na área da selagem a vidro assistida a laser. Se não for possível atingir este objetivo, será testada a estratégia da termocompressão. Se mesmo assim não resultar, será usada uma resina epóxi para fazer a selagem.
Gestão de projeto	Desvio do orçamento	Todas	2	O desvio do budget face ao inicialmente previsto poderá ter implicações no sucesso dos objetivos propostos, não permitindo o desenvolvimento total das tarefas ou implicar atrasos significativos.	Será efetuada uma monitorização orçamental trimestral do projeto, permitindo conhecer antecipar desvios e reajustar orçamentos.
Gestão de projeto	Atraso na entrega de Deliverables	Todas	3	O atraso na entrega de deliverables é particularmente relevante quando as tarefas seguintes estão dependentes dos resultados destas deliverable, podendo levar a atrasos na tarefa seguinte, atrasando o projeto.	Existirá um forte compromisso, por parte do consórcio, materializada por uma gestão do projeto assertiva, que identificará atempadamente eventuais atrasos e desvios através de uma constante monitorização, minimizando o seu impacto. O coordenador do projeto acompanhará a situação com reuniões regulares de status com os parceiros, incluindo atualizações regulares sobre o desempenho das atividades.

## 2.7. Resumo da dedicação dos Recursos Humanos

Promotor		ETI por Atividade								Total Pessoa\Mês
N.º	Abreviatura	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	
1	A400	3,52	9,49	5,21	4,98	7,19	14,82	6,59	6,5	58,3
2	FEUP	4,94	5,91	39,75	29,31	4,93	4,96	7,22	5,92	102,94
3	Azure Photon	7,01	3,81	4,66	2,16	13,66	1,71	6,36	3,53	42,9
Total										204,14

## 2.8. Gestão do projeto

Durante a execução, a gestão do projeto seguirá a metodologia definida pela A400 na gestão dos projetos em cooperação. Existirá um Diretor de Projeto, no Promotor Líder, que acompanhará a execução detalhada do projeto a nível técnico-científico.

Pretende-se garantir a boa execução do projeto, assim como assegurar a coordenação técnica e tecnológica entre as diferentes valências do mesmo de forma a atingir os resultados propostos. Dado que o projeto tem base intrínseca de Investigação e Desenvolvimento, com componentes de risco e incertezas, o processo a implementar terá um “steering committee” tecnológico, constituído por representantes da A400, da FEUP e da Azure Photon, compreendendo as várias valências do projeto, de forma a promover a interdisciplinaridade das decisões e coerência nos caminhos e decisões estratégicas tecnológicas a tomar durante o projeto. Este terá a coordenação da A400 e reunirá com periodicidade trimestral, ou outra que se revele mais eficaz no processo de condução do projeto; podem ser convidados elementos externos (em acordo entre os elementos do consórcio) que demonstrem valor em áreas específicas do projeto e que permitam recolher informação relevantes de entidades externas que possam afetar as investigação/soluções a implementar durante o projeto.

A coordenação geral do projeto será também da responsabilidade da A400 e terá como objetivo assegurar a execução das tarefas dentro dos prazos pretendidos, identificar restrições ou dificuldades e promover estratégias integradas para a sua resolução. A coordenação inclui a supervisão da execução técnica e financeira do projeto, incluindo garantia da entrega de relatórios técnicos, coordenação da execução de *deliverables* e cumprimento das *milestones*. A documentação relativa ao projeto e informação de base relativa ao processo de execução será armazenada num servidor seguro (com armazenamento de segurança) acessível via web e que permite registar a evolução, decisões críticas e informação de base para o projeto, de forma a permitir a sua partilha entre todos os envolvidos no projeto.

Baseados nestes princípios e na estrutura de gestão delimitada, a gestão do projeto será orientada para se alcançar uma ótima relação resultados/esforço que possa maximizar a eficiente utilização dos recursos humanos, financeiros e equipamentos, garantindo a qualidade dos resultados.

## 3. Impacto

### 3.1. Impacto económico e/ou empresarial

A incorporação de módulos iPV em dispositivos elétricos/eletrónicos é muito recente; trata-se assim de um mercado emergente. O projeto PVBoost pretende desenvolver um produto inovador e com um grande potencial de crescimento. Estas características inovadoras/diferenciadoras são:

- 1) Módulos iPV encapsulados a vidro – estabilidade previsível > 20 anos – o parceiro FEUP é, a nível mundial, quem detém a exclusividade do conhecimento desta tecnologia;
- 2) Grande aposta na componente estética dos módulos iPV e dos dispositivos intervencionados – papel determinante assumido pelo parceiro A400;

- 3) Desenvolvimento dos novos saltos tecnológicos – aposta na liderança da tecnologia com o desenvolvimento do encapsulamento de substratos de vidro finos– aposta no futuro e nas aplicações com maior valor acrescentado como controladores à distância (televisão, ar condicionado, etc.), tabletes, telemóveis, computadores, etc.

A empresa Azure Photon é uma spin-off da FEUP, e assim com grandes fragilidades financeiras. Este projeto permitirá à empresa estudar e identificar as necessidades e requisitos de mercado, bem como as capacidades necessárias e limitações da fabricação industrial dos módulos iPV e encontrar soluções para os mesmos. Além disso, possibilitará a entrada no mercado com um produto inovador e diferenciador e obter o reconhecimento de mercado; a empresa A400 apoiará esta estratégia. No início, a empresa Azure Photon deverá vender componentes de produtos comerciais modificados internamente com a adição dos módulos de iPV, e.g. interruptores elétricos, alarmes de incêndio, relógios de parede, entre outros. Depois deverá fazer acordos de parceria com produtores de dispositivos elétricos / eletrónicos de interior e com clientes finais (e.g. EFAPEL, GFE, A400 – empresas portuguesas líderes de mercado). O parceiro A400 terá um papel decisivo nestes acordos comerciais.

Os concorrentes potenciais dos módulos iPV da Azure Photon são 3Gsolar (Israel), Ricoh (Japão) e EnOcean (Alemanha). O facto de estas empresas não estarem localizadas na península Ibérica, permitirá uma entrada no mercado ibérico eficaz da Azure Photon e desta forma ultrapassar fragilidades iniciais relacionadas resultantes do subfinanciamento.

No final deste projeto, em 2028, a empresa Azure Photon deverá ser capaz de encontrar parceiros financiadores, que entrem no capital da empresa em condições favoráveis. Será dada prioridade a financiadores que sejam simultaneamente potenciais clientes, tais como produtores de equipamentos elétricos / eletrónicos para interior; a empresa A400 é uma das empresas com especial apetência para esta função. Deverá angariar suficiente financiamento para passar à segunda fase da sua estratégia e construir a primeira fábrica de produção em série de módulos iPV. Esta deverá fornecer um mercado crescente de equipamentos devido aos potenciais acordos comerciais e impulsionar a entrada no mercado europeu e mundial. Simultaneamente deverá lançar o primeiro módulo iPV fino e atrair gigantes mundiais nas áreas dos controladores à distância (televisão, ar condicionado, etc.), tabletes, telemóveis e computadores. A atração de gigantes mundiais acarreta riscos muito elevados; a gestão criteriosa da propriedade intelectual e de acordos favoráveis com estas gigantes deverá permitir à Azure Photon continuar no mercado de forma independente. A estratégia traçada é muito ambiciosa e comporta riscos importantes. No entanto, a Azure Photon, juntamente com a empresa A400, desenharam uma estratégia de minimização do risco, baseada na antecipação dos desafios. Desta estratégia fazem parte:

1. gestão criteriosa da fração do capital social detida por cada um dos parceiros não nucleares à empresa de forma que não haja uma apropriação por nenhum deles;
2. valorização da empresa de forma que a fração total do capital social detido por parceiros não completamente alinhados com a estratégia da Azure Photon seja pequena e nunca superior a 50 %;
3. obtenção de um grande financiamento inicial a troco de expectativas muito elevadas, de forma a permitir um avanço rápido no autofinanciamento;
4. política de proteção da propriedade intelectual agressiva – recurso a deposição provisória de documentos, com custos mínimos, de forma a permitir ter um período de avaliação do potencial da estratégia de proteção, maximizando a razão benefício / custo;

Através das parcerias com empresas produtoras de dispositivos elétricos / eletrónicos, a Azure Photon deverá desenvolver uma política agressiva de colocação do produto no mercado através de representantes locais e estratégias de OEM, escondendo a origem do produto em mercados

que não valorizem os produtos “made in Portugal” ou “made in Europe”. Esta política deverá ser usada sobretudo nos mercados asiáticos.

A estratégia projetada de desenvolvimento da Azure Photon é apresentada na **Tabela 4**.

**Tabela 4 - Projeções de vendas de módulos iPV da Azure Photon.**

Ano	Nº módulos produzidos	Observações
2028	500	Final do projeto; Certificação do produto e início das vendas de módulos iPV incorporados em dispositivos comerciais; Aquisição de clientes nacionais.
2029	1000	Entrada de capital; Construção da linha de montagem (necessidade de investimento produtivo); Apresentação do primeiro módulo iPV fino; Reforço da presença no mercado ibérico.
2030	5000	Entrada em funcionamento da linha de montagem; Acordos comerciais; Prospeção de mercados internacionais.
2033	50 000	Aumento da capacidade produtiva; Projeção e desenvolvimento de nova linha de montagem de alto rendimento (necessidade de investimento produtivo); Reforço da capacidade de I&DI com foco na IoT; Internacionalização completa.

A empresa A400 vai incorporar os módulos de iPV produzidos pela Azure Photon em produtos de autor, usados nos hotéis que constrói, bem como numa série de dispositivos, como interruptores elétricos sem fios, dispositivos Wi-Fi, alarmes de incêndio, relógios de parede e de mesa de cabeceira. Para além da parceria comercial entre as empresas Azure Photon e A400, esta última poderá vir a ser parceira da Azure Photon. As vendas espectáveis da A400, diretas – incorporação de dispositivos integrando módulos de iPV nos hotéis que constrói, e indiretas – resultante dos acordos comerciais com a Azure Photon na incorporação de módulos em dispositivos comerciais, são indicadas na **Tabela 5**.

**Tabela 5 - Projeções de vendas de módulos iPV da A400.**

Ano	Vendas (k€)	Observações
2028	2	Final do projeto; Certificação do produto e início das vendas de módulos iPV incorporados em dispositivos comerciais.
2029	10	Continuação de venda de dispositivos incorporando módulos iPV produzidos manualmente
2030	30	Industrialização da produção dos módulos iPV; Acordos comerciais com empresas produtoras de dispositivos elétricos/eletrónicos que possam incorporar iPV; Internacionalização.
2031	100	Redução do preço dos módulos iPV e melhores especificações técnicas e estéticas; Novos acordos comerciais; Entrada no mercado dos edifícios de escritório e habitacionais, para além dos hotéis; Internacionalização.
2032	200	Continuação do aumento de qualidade dos dispositivos; Incorporação de novos dispositivos usando iPV em hotéis, escritórios e habitações.

Evento de risco de Mercado	Descrição do evento	Probabilidade de ocorrência (1-Baixa a 5-Elevada)	Medidas mitigação planeadas
Baixa aceitação da solução proposta	Tratando-se de uma nova tecnologia a ser utilizada num setor maduro há o risco de baixa aceitação da solução por desconhecimento	3	Apostar forte numa comunicação eficiente e clara sobre as vantagens competitivas das soluções apresentadas. Dispor de unidades de demonstração que sejam visitáveis por eventuais clientes
Constrangimentos legais (exe. certificação,	A certificação externa segundo as normas de mercado é essencial para o sucesso da	2	Há tarefas delicadas à testagem e validação dos diversos componentes do produto segundo normas mais exigentes.

licenciamento, patente, etc.)	comercialização do produto. Caso não seja certificado pode comprometer a industrialização do produto.		Assim, será possível antecipar qualquer imprevisto e atacá-lo na fase de desenvolvimento antes da validação e certificação externa do produto final.
Custos elevados da solução	Tratando-se de um produto com um avançado método de encapsulamento, à risco de o custo do produto ser superior às ofertas de competidores	3	Há uma aposta forte na obtenção de um produto “premium” face às restantes ofertas que apesar do custo inicial superior apresente um custo-benefício semelhante ou melhor.
O surgimento de soluções que tenham idêntica funcionalidade	Poderão surgir no mercado soluções com idêntica funcionalidade, sendo concorrência direta do PVBoost em vários mercados	3	Haverá uma tarefa dedicada a uma permanente vigilância tecnológica e científica de novas soluções e matérias-primas. Será realizada a vigilância tecnológica de projetos de IoT internacionais, realizados por empresas durante a vigência do projeto. Por outro lado, os promotores comprometem-se com rapidez na entrega/disponibilização das soluções no mercado. Existirá uma comunicação eficiente focada nas vantagens competitivas das soluções.

### 3.2. Plano de Comunicação, disseminação e valorização dos resultados

Um projeto inovador, como aquele que será desenvolvido por este consórcio, necessita de uma divulgação e disseminação criativa e ativa, de forma a atingir o seu público-alvo, cativando e esclarecendo todos os potenciais interessados na solução, sejam estes nacionais ou internacionais. Como tal, foi delineada uma estratégia de divulgação holística do projeto, que abarcar a comunidade científica e potenciais clientes:

- **Criação da Identidade visual do projeto:** logótipo do projeto, layouts, imagens e textos comunicativos, procurando transmitir visualmente o carácter inovador das suas atividades e resultados;
- **Criação de material de divulgação:** será elaborado material promocional que permita apresentar os resultados do projeto. Pretende-se criar uma brochura e roll-ups, em português e inglês para divulgação em eventos. Prevê-se ainda a criação de materiais didáticos e dinâmicos que apoiem a estratégia de valorização de resultados do projeto como apresentações, vídeos, etc.;
- **Website:** será criado um website do projeto para apresentação dos seus objetivos, atividades e resultados. O projeto será igualmente difundido através dos sites dos promotores com a criação de uma página de apresentação do projeto. Durante toda a fase de projeto, investigação e desenvolvimento da solução, serão realizadas atualizações regulares no website do projeto semelhantes a um “storyboard”, permitindo a qualquer visitante um contacto próximo com o desenrolar de um projeto deste tipo;
- **Publicações técnicas e científicas:** O consórcio pretende divulgar o conhecimento gerado a partir da investigação científica e dos resultados alcançados pelo projeto, através da apresentação e publicação de artigos científicos, em coautoria, em revistas científicas relevantes, e a elaboração de conteúdos técnico-científicos na sequência da participação nas conferências. A equipa de projeto irá preparar e submeter artigos científicos em revistas relevantes no setor. O trabalho desenvolvido será, igualmente, divulgado em publicações mais generalistas do sector como sejam por exemplo PV Magazine e Construção Magazine.
- **Participação em conferências, congressos, feiras e eventos:** Os promotores do projeto irão participar em diferentes congressos e conferências científicas internacionais com o objetivo de divulgar o know-how desenvolvido e promover as competências tecnológicas dos diferentes promotores na I&D de um novo produto.



- **Ações divulgação junto ao setor alvo:** para além da participação em eventos do setor, as principais conclusões deste projeto serão amplamente divulgadas junto dos setores alvo utilizando as redes sociais YouTube, Instagram e Facebook, assim como nas principais plataformas internacionais (ECTP) ou nacionais (PTPC). O protótipo desenvolvido estará aberto aos visitantes pelo menos 2 vezes por ano, durante o período do projeto. O objetivo é atrair mais investimentos para a área e mais empresas, tornando reais os objetivos da impressão 3D num curto prazo e reforçando a indústria nacional.

- **Workshop:** realização de workshop aberta ao público e com convite direcionado aos peritos da área, para divulgação das principais novidades tecnológicas e conclusões do projeto.

A A400 irá coordenar todo o processo de divulgação de resultados, identificando o público-alvo e sistematizando toda a informação a divulgar pelos meios previstos. Estas ações demonstram-se particularmente essenciais para promover os resultados alcançados no âmbito do projeto e garantir uma aproximação ao público-alvo. A FEUP e a A400 e a Azure Photon participarão ativamente na preparação de conteúdos técnico-científicos para divulgação de resultados, bem como na identificação de plataformas digitais ou físicas, tais como, revistas internacionais, que se mostrem potenciais veículos de divulgação para os resultados do projeto, sendo que irá ainda difundir o projeto junto das suas redes de contacto.

Todos estes tipos de comunicação terão alvos e complexidades diferentes, mas contribuirão como um todo para a visibilidade externa e valorização económica dos resultados obtidos.

#### 4. Adequação da operação aos objetivos e medidas de política pública

Eixos de Política do Pacto Ecológico Europeu	sim/ não	Justificação
<a href="#">Clima</a> - A Europa terá um impacto neutro no clima até 2050	Sim	O Pacto Ecológico Europeu visa alcançar a neutralidade climática até 2050 na Europa. Para se atingir esse objetivo de descarbonização, é necessário reduzir as emissões em todos os setores, nomeadamente no da construção, que é um dos setores que mais gases com efeito de estufa emite na UE. O projeto prevê implementação de soluções que realizem uma gestão autónoma das necessidades energéticas dos edifícios através de sensores e domótica alimentados com fotovoltaicos, reduzindo o consumo energético dos edifícios e as suas emissões.
<a href="#">Energia</a> - Transição energética limpa e eficiente	Sim	Mais de 75 % das emissões de gases com efeito de estufa na EU são provenientes da produção da energia. Implementação de tecnologias limpas e renováveis de produção energética é essencial para reduzir emissões. O PVBoost pretende desenvolver tecnologias limpas de conversão da luz em energia elétrica para alimentar diversos dispositivos elétricos/eletrónicos usado em edifícios, que permitira melhorar o desempenho energéticos dos edifícios.
<a href="#">Ambiente e Oceanos</a> - Proteção da biodiversidade e dos ecossistemas	Sim	É prioritário a proteção da biodiversidade através da redução da poluição e melhor gestão dos resíduos sólidos. Este projeto centra-se na apresentação de soluções para aumentar o tempo de vida dos aparelhos eletrónicos usados em edifícios. Estas soluções reduziram o consumo de baterias necessário para alimentar os aparelhos e permitirá reduzir a quantidade de resíduos produzidos e os impactos no seu fim de vida no ambiente.
<a href="#">Agricultura</a> - Um sistema alimentar saudável para as pessoas e para o planeta	Não	
<a href="#">Transportes</a> - Proporcionar transportes eficientes, seguros e amigos do ambiente	Não	
<a href="#">Indústria</a> - Uma estratégia industrial para uma Europa competitiva, ecológica e digital	Sim	Por forma a ser possível à EU atingir a neutralidade climática até 2050, é necessário que a indústria esteja assente em tecnologias com baixo nível de emissões e de produtos e serviços sustentáveis. O projeto aqui apresentado está perfeitamente alinhado com esta estratégia, entregando uma tecnologia de construção de edifícios totalmente inovadora, baseada em tecnologia

		digital e que utiliza materiais sustentáveis, reduzindo substancialmente as emissões de gases com efeito de estufa.
<a href="#">Investigação e Inovação</a> - O papel da indústria na promoção de mudanças transformadoras	Sim	A investigação e inovação nas empresas é fundamental para modernizar a indústria, permitindo uma transição industrial e energética sustentáveis. O projeto PVBoost tem por base atividades de investigação e desenvolvimento que visam o desenvolvimento de novas tecnologias, que capacitará a indústria da construção de ferramentas da indústria 4.0, contribuindo para a neutralidade carbónica e mitigando as alterações climáticas, respondendo, indo ao encontro dos objetivos do European Green Deal.
<a href="#">Financiamento e Desenvolvimento Regional</a> - Investimentos sustentáveis para a concretização do Pacto Ecológico Europeu	Sim	O orçamento plurianual da EU (2021-2028) e o NextGenerationEU, afetaram 30% dos recursos a investimentos ecológicos. Os países da EU têm de dedicar pelo menos 37% do financiamento recebido ao abrigo do Mecanismo de Recuperação e Resiliência, a investimentos e reformas que apoiem os objetivos climáticos. Os investimentos a serem realizados no projeto PVBoost contribuirão ativamente para a diminuição da pegada carbónica do setor da construção, estando perfeitamente alinhados com a concretização do PEE.
<a href="#">Novo Bauhaus Europeu</a> - Uma iniciativa criativa e interdisciplinar que liga o Pacto Ecológico Europeu aos nossos espaços de vida e experiências	Sim	A iniciativa do Novo Bauhaus Europeu apela a todos para que imaginem e construam juntos um futuro enriquecedor (inspirado na arte e cultura), sustentável (em harmonia com a natureza, o ambiente e o planeta) e inclusivo (incentivando ao diálogo entre culturas, disciplinas, géneros e idades). Este projeto explora a sua vertente sustentável, de valorização dos objetivos climáticos à circularidade, poluição zero e biodiversidade, constituindo uma solução ecologicamente viável e que permite uma maior prevenção e uso eficiente dos recursos naturais.

Eixos de Política do Programa Europa Digital	sim/ não	Justificação
<a href="#">Computação de Alto Desempenho (Supercomputing)</a> : construir e reforçar as capacidades de supercomputação e de processamento de dados da UE, ajudando-nos a alcançar a supercomputação à exaescala	Não	
<a href="#">Inteligência Artificial</a> : abrir a utilização da inteligência artificial pelas empresas e administrações públicas	Não	
<a href="#">Cibersegurança</a> : ajudar a UE a alcançar um elevado nível comum de cibersegurança.	Não	
<a href="#">Competências Digitais Avançadas</a> : financiar a conceção e a realização de programas especializados e estágios para formar futuros especialistas em áreas-chave de capacidade, como dados e IA, cibersegurança, computação quântica e computação de alto desempenho	Não	
Implantação e melhor utilização das capacidades digitais e interoperabilidade (incl. através dos <a href="#">Pólos de Inovação Digital</a> )	Não	