

## NOVO MODELO DE INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS AVANÇADOS DE ENERGIA RENOVÁVEL NOS EDIFÍCIOS

**Aelenei L.\*, Brites M.J.\*, Joyce A.\*, Esteves M.A.\*, Rodrigues C.\*, Barros H.\*, Valente D.\***

\* Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P., Estrada do Paço do Lumiar, 22,  
1649-038 Lisboa, Portugal, [laura.aelenei@lneg.pt](mailto:laura.aelenei@lneg.pt)

<https://doi.org/10.34637/cies2020.2.2133>

### RESUMO

O projeto IDEAS “Novel building Integration Designs for increased Efficiencies in Advanced climatically tunable renewable energy Systems” é um projeto financiado pelo Programa HORIZON2020, multidisciplinar que reúne várias temáticas científicas e competências para o desenvolvimento e demonstração de um novo conceito de design para integração de edifícios. O modelo combina várias tecnologias de energia renovável, incluindo solar fotovoltaica, solar térmica, armazenamento de energia térmica e bombas de calor (aerotérmica e geotérmica) acopladas a piso radiante. No presente trabalho os autores querem partilhar a visão e descrição geral do projeto IDEAS, alguns trabalhos que foram desenvolvidos nas primeiras atividades e tarefas do projeto relativamente à fabricação e testes de camadas luminescentes *downshifting* (LDS) para o módulo fotovoltaico híbrido PVT com concentrador parabólico composto (CPC), bem como apresentar o modelo numérico de todo o sistema IDEAS que se encontra em desenvolvimento para a análise técnico económica do sistema IDEAS.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia Solar, Integração nos Edifícios, Armazenamento de Energia, NZEB

### ABSTRACT

IDEAS project “Novel building Integration Designs for increased Efficiencies in Advanced climatically tunable renewable energy Systems” [1] is a project funded by the HORIZON2020 Program, a multidisciplinary project that brings together various scientific themes and competencies for the development and demonstration of a novel design concept for building integration. The model combines several renewable energy technologies including solar photovoltaic, solar thermal, thermal energy storage, geothermal and air source HP technology coupled with underfloor heating. In this work the authors want to share the vision and the general description of the IDEAS project, work developed in the first activities and tasks of the project regarding the manufacture and testing of luminescent downshifting layers (LDS) for the luminescent compound parabolic concentrator integrated in the IDEAS system, as well as ongoing work on the construction of the numerical model for the technical economic analysis of the IDEAS system

**KEYWORDS:** Solar Energy, Building Integration, Energy Storage, NZEB

## INTRODUÇÃO

Os edifícios são responsáveis por aproximadamente 40% do consumo de energia e 36% das emissões de CO<sub>2</sub> na União Europeia (EU), tornando-os o maior consumidor de energia na Europa. A publicação da nova Diretiva sobre o Desempenho Energético dos Edifícios em 2010 (EPBD, 2010) introduziu novos requisitos obrigando todos os edifícios novos, construídos a partir de 2020, a serem caracterizados por níveis mais elevados de desempenho energético, procurando explorar mais as fontes de energia renováveis disponíveis localmente numa base economicamente equilibrada e sem prejuízo para o conforto dos ocupantes. Para este fim, a partir 2020 todos os novos edifícios devem ser caracterizados por um balanço energético “quase nulo”. Um edifício de balanço energético quase nulo, ou NZEB, refere-se a um edifício com necessidades energéticas muito baixas, devido à adoção de medidas de eficiência, em que as necessidades serão supridas por fontes renováveis de energia. Consequentemente, a adoção de estratégias e medidas de eficiência energética, em conjunto com a integração e utilização de sistemas de energia renováveis (RES), no sector dos edifícios permite reduzir os consumos de energia e responder aos objetivos da política climática para 2030. Neste contexto, a investigação científica procura responder, através de atividades e projetos de investigação que visam a mitigação de soluções sustentáveis de eficiência energética, integração de renováveis e gestão de energia nos edifícios.

Neste estudo, os autores pretendem partilhar um conjunto de ideias inovadoras que se encontra em desenvolvimento no projeto Europeu, recentemente aprovado no âmbito do programa Horizon 2020, “IDEAS-Novel building Integration Designs for increased Efficiencies in Advanced climatically tunable renewable energy Systems” (Home - Horizon 2020 IDEAS, 2020). O projeto IDEAS visa desenvolver um sistema inovador integrado para edifícios (Fig. 1) que combina várias tecnologias de energias renováveis, incluindo solar fotovoltaico, solar térmico, armazenamento de energia térmica e bombas de calor (aerotérmica e geotérmica) acopladas a piso radiante.

## PROJETO IDEAS

### Conceito

O projeto IDEAS consiste no estudo, desenvolvimento e demonstração de um sistema avançado de produção, armazenamento e gestão inteligente de energia para ser integrado em edifícios residenciais e de serviços. O projeto propõe-se desenvolver a combinação de várias tecnologias de energia renovável, conforme se ilustra na Fig. 1. As participações das diferentes tecnologias dependem da região, estação do ano e hora do dia. As tecnologias de armazenamento de energia em combinação com o fornecimento flexível de energia renovável podem cobrir a maior parte das necessidades de eletricidade, aquecimento e refrigeração. Para cumprir este objetivo o projeto inclui o desenvolvimento de uma ferramenta de gestão do armazenamento e abastecimento integrando energias renováveis provenientes de várias fontes.

O conceito avançado do IDEAS é baseado em alcançar o maior aproveitamento possível de energia renovável desenvolvendo um edifício verdadeiramente inovador na integração de fontes de energias renováveis (RES) para além do atual estado da arte. No sistema CPV-T-PCM serão desenvolvidas a captação da radiação solar através da aplicação da tecnologia de concentração CPC e da aplicação de uma camada luminescente nas células PV, aumentando a produção de energia elétrica para consumo ou armazenamento em baterias. Com a captação solar melhorada, a temperatura das células fotovoltaicas também aumenta penalizando a eficiência PV, o que é solucionado através da instalação de dissipadores de calor com incorporação de materiais de mudança de fase (PCM) que promovem a regulação da temperatura das células. O calor absorvido poderá ser, assim, armazenado e utilizado em AQS ou usado acoplado a bombas de calor aerotérmicas e/ou geotérmicas para baixar a temperatura do PV e para fornecer calor ao sistema de aquecimento por piso radiante para aquecimento ambiente.

O projeto proporcionará não apenas avanços na eficiência solar fotovoltaica e armazenamento térmico, mas também produzirá um edifício único na integração de RES em edifícios, ajustável a diferentes condições climáticas, fornecendo eletricidade, aquecimento e refrigeração.

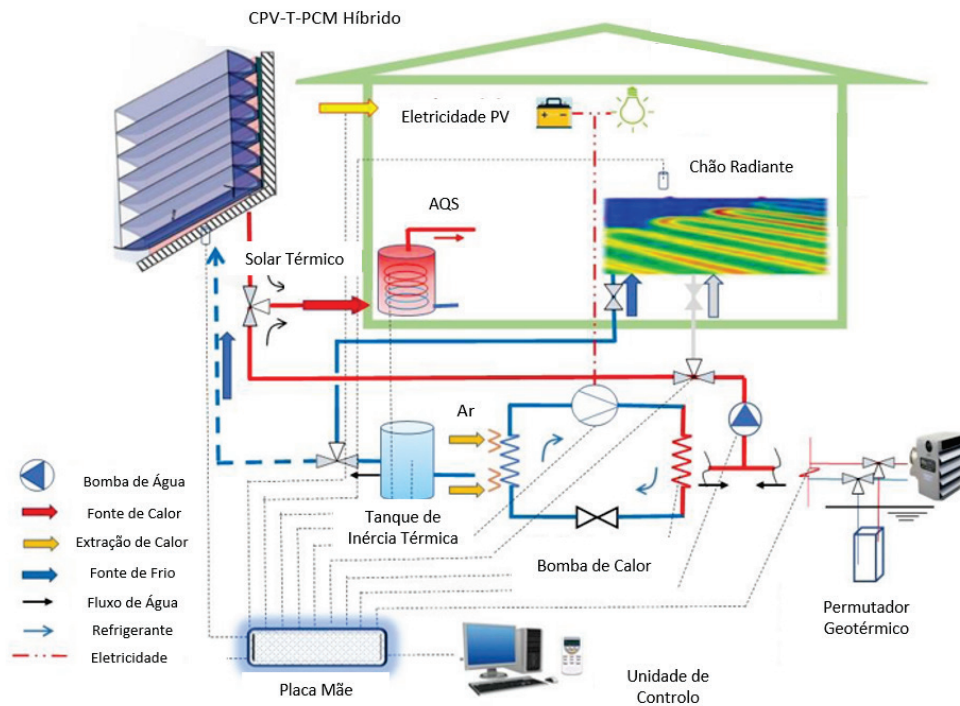


Fig. 1. Projeto IDEAS - Descrição Esquemática do Conceito

### Objetivos do Projeto

Para se conseguir desenvolver um sistema integrado do tipo proposto pelo projeto IDEAS, é preciso abordar várias temáticas que de facto foram propostas deste início como principais linhas de investigação do projeto e que são ilustradas na Fig. 2.

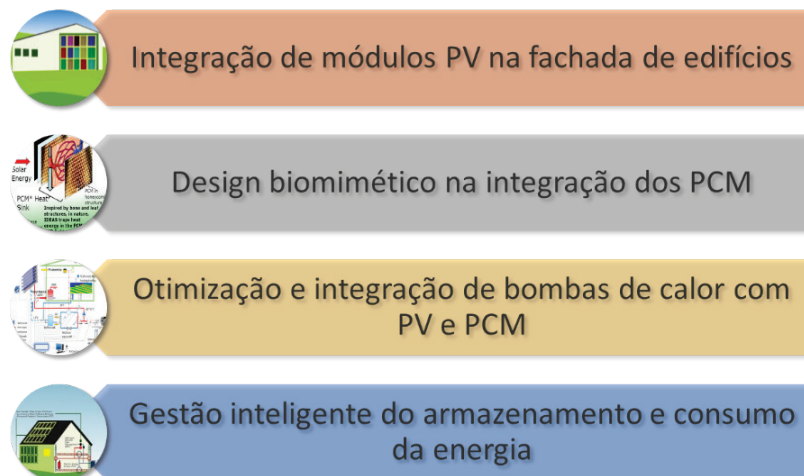


Fig. 2. Linhas de Investigação do Projeto

Seguindo essas principais linhas, os objetivos específicos do projeto são:

- Desenvolver novas camadas de luminescência (LDS) usando corantes luminescentes de alta eficiência quântica (QE) e pontos quânticos (QDs) para aumentar a captação de radiação solar direta e difusa;
- Desenvolver um concentrador parabólico composto integrado (CPC) que pode ser utilizado em distintas condições climáticas;

- Otimizar a eficiência do módulo PV através da integração de armazenamento térmico em PCM para capturar o calor residual no sistema procurando, ao mesmo tempo obter uma melhor distribuição do calor através de uma configuração obtida por métodos biomiméticos;
- Otimizar o sistema de aquecimento através de uma combinação entre bomba de calor e o novo sistema PCM para aquecimento por piso radiante, adotando uma abordagem de múltiplas fontes que integra ar e solo como fonte secundária / dissipador;
- Desenvolver um sistema avançado de controlo, produção distribuída e de gestão da procura;
- Desenvolver uma ferramenta de planeamento que ofereça o dimensionamento ideal do sistema e avalie o seu impacto ambiental e económico para aplicação em diferentes tipos de edifícios (multifamiliares, públicos e comerciais) em diferentes regiões climáticas;
- Desenvolver, instalar e demonstrar o sistema IDEAS em dois edifícios piloto;
- Envolver os proprietários e ocupantes de edifícios no processo do desenvolvimento e integração do sistema IDEAS para aumentar a aceitação e a validação através das suas opiniões e desenvolver guias técnicos para instaladores.

### Metodologia do Projeto

Para alcançar os objetivos, o projeto apresenta uma metodologia distribuída em 7 grupos de tarefas principais dos quais 4 grupos de tarefas de desenvolvimento (WP1-WP4) e onde vários componentes do sistema IDEAS são desenvolvidos, nomeadamente as camadas luminescentes (LDS) e o concentrador CPC no WP1, o armazenamento em PCM no WP2, as bombas de calor e o piso radiante no WP3 e a integração de todos estes sistemas no algoritmo de gestão inteligente no WP4. A metodologia conta também com o grupo de tarefas de demonstração onde o sistema desenvolvido é integrado num edifício real para demonstração da sua eficiência no WP5. O grupo de tarefas WP7 fecha o circuito do desenvolvimento e demonstração do sistema através de uma análise técnico económica do mesmo. Em paralelo o WP6 analisa o envolvimento dos utilizadores e proprietários no processo e o WP8 faz a disseminação dos resultados do projeto. Por fim o WP9 faz a coordenação global de todos os trabalhos e procede à avaliação dos mesmos. A metodologia seguida no projeto é mostrada na Fig. 3

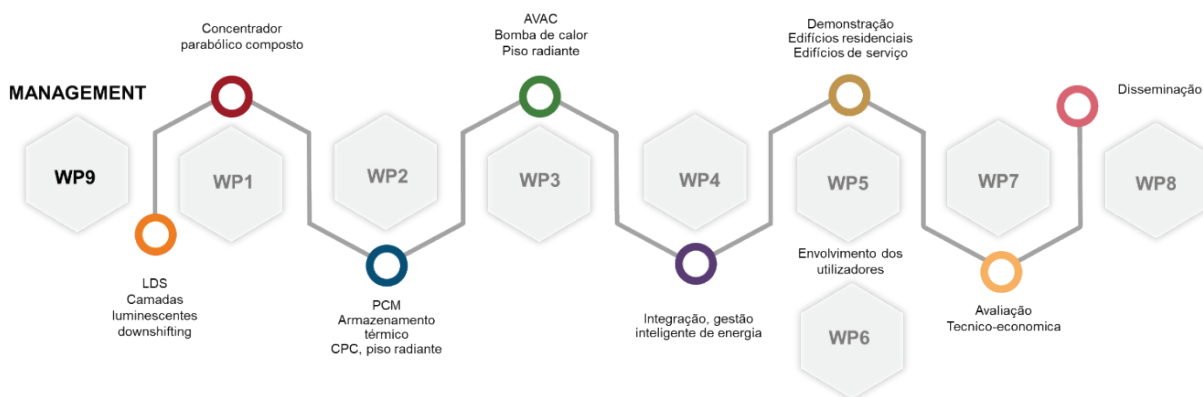


Fig. 3. Metodologia e Estrutura do Plano de Trabalho

O projeto teve o seu início há cerca de um ano e meio e já foram concluídas algumas atividades como a construção do primeiro concentrador CPC. O protótipo desenvolvido, integrando o conjunto de produtos desenvolvidos no WP2 (PCM), no WP3 (bomba de calor) e no WP4 (algoritmos de gestão) está a ser instalado num laboratório de demonstração em pequena escala em Itália. Entretanto algumas das atividades do projeto estão suspensas ou atrasadas devido à diminuição de atividade ou fecho de alguns laboratórios desde o início da pandemia da COVID-19.

Mencionam-se, de seguida, as principais contribuições da equipa do LNEG para o grupo de tarefas WP1, nomeadamente no desenvolvimento do Concentrador Parabólico Composto Luminescente, bem como os trabalhos de arranque do grupo de tarefas WP7 no desenvolvimento do modelo numérico que visa a avaliação técnico económico do sistema IDEAS.



CONCENTRADOR PARABÓLICO COMPOSTO LUMINESCENTE

No WP1 do projeto IDEIAS, uma série de novos corantes luminescentes derivados de tetrafeniletileno (TPE) foram sintetizados e caracterizados espectroscopicamente (espectro de absorção no ultravioleta-visível (UV-Vis) e espectro de fluorescência). Os novos corantes serão utilizados na fabricação de camadas luminescentes (*Luminescent DownShifting layers*, LDS) para aplicação em diferentes tipos de células fotovoltaicas (PV), com o objetivo de aumentar a sua estabilidade e eficiência (Perdomo et al. 2020, Ahmed et al. 2016).

Uma camada LDS é composta tipicamente por um filme fino de um polímero (ex. PoliMetilMetAcrilato, PMMA) com moléculas luminescentes (fluoróforos) incorporadas, que convertem os fótons de comprimento de onda curto, onde a célula PV responde mal ( $\lambda < 400$  nm), em fótons de comprimento de onda longo no espectro visível, onde a resposta espectral ou Eficiência Quântico Externo (EQE) da célula PV é maior (Fernandes et al. 2017) (Fig. 4). Assim, um corante luminescente para aplicação na camada LDS, precisa exibir determinadas propriedades óticas, tais como: 1) banda larga de absorção na região de 300 nm a 400 nm onde o EQE da célula PV é menor, 2) coeficiente de absorvidade, eficiência quântica de luminescência (LQY) e transmitância elevadas, 3) banda de emissão na região onde a EQE da célula é maior, e 4) deslocamento de Stokes elevado, isto é, a diferença entre os comprimentos de onda das bandas de absorção e de emissão (Fig.4), para minimizar perdas devido à reabsorção dos fótons emitidos.

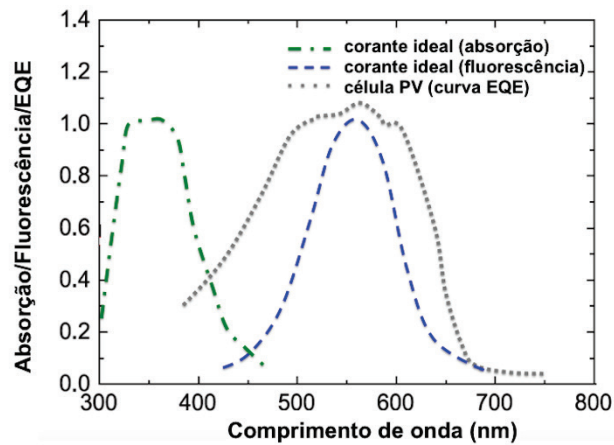


Fig. 4. Espectros de absorção e de emissão de fluorescência para um corante ideal e a curva EQE de uma célula fotovoltaica.

No primeiro ano do projeto e no âmbito do WP1 foram sintetizados novos corantes luminescentes derivados do tetrafenileno (TPE) com um sistema molecular baseado no núcleo TPE, funcionalizado com diferentes grupos aceptores de elétrons. A síntese e caracterização estrutural dos novos corantes luminescentes será publicada numa revista da área. Na Fig.5 são apresentados os espectros de absorção e emissão normalizados de três dos novos corantes luminescentes (1-3) em filme de Zeonex e na Tabela 1 encontram-se sumarizados os respectivos parâmetros fotofísicos.

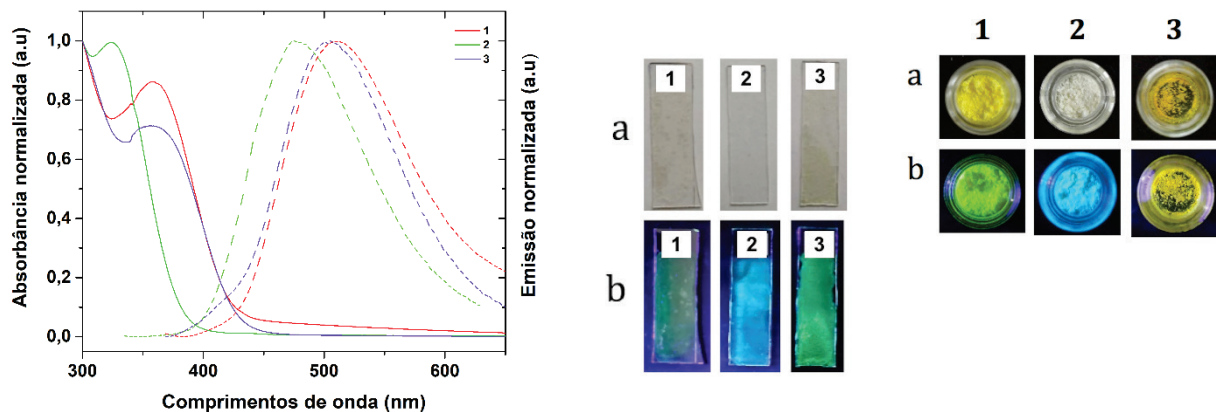


Fig. 5. Espectros de absorbância (linha contínua) e emissão (linha tracejada) dos corantes 1, 2 e 3, em filme de Zeonex. Imagens dos corantes luminescentes (1-3) sob luz visível (a) e ultravioleta de 365 nm (b), em filme de zeonex e na forma de pó.

Tabela 1. Propriedades fotofísicas dos corantes em filmes sólidos e em diclorometano (DCM)

	Corantes	$\lambda_{\max}^a$ (nm)	$\lambda_{em}^b$ ( $\lambda_{exc}$ ) <sup>c</sup> (nm)	Desvio de Stokes ( $\Delta\lambda$ /nm)
Filmes	1	359	512 (359)	153
	2	325	479 (325)	154
	3	359	505 (359)	146

<sup>a</sup> Comprimento de onda máximo de absorção. <sup>b</sup> Comprimento de onda máximo de emissão.

<sup>c</sup> Comprimento de onda de excitação.

Os corantes (1-3) em filme, apresentam uma banda de absorção máxima na região de 325 nm a 359 nm e uma emissão máxima entre 479 e 512 nm. O elevado deslocamento de Stokes (entre 146 nm e 154 nm) destes corantes permitirá minimizar perdas devido à reabsorção dos fotões emitidos por estas moléculas. Tendo em conta estes resultados preliminares podemos concluir que os corantes 1 e 3 tem potencial para serem utilizados na fabricação de camadas luminescentes LDS.

#### ANÁLISE TÉCNICO ECONÓMICA E AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

No WP7 do projeto pretende-se efetuar uma avaliação técnico-económica dos dispositivos e sistemas que se encontram em desenvolvimento, assim como proceder a uma análise do ciclo de vida dos produtos finais desenvolvidos. Este *Work Package* é coordenado pelo LNEG.

Para o desenvolvimento desta atividade está a ser criado um modelo em *MatLab Simulink* de todo o sistema IDEAS incluindo os principais componentes, nomeadamente: módulo híbrido Fotovoltaico-Térmico (PVT) com concentrador CPC, e camada luminescente na parte frontal e sistema de armazenamento por material de mudança de fase (PCM) e extração de energia nas costas do módulo fotovoltaico; Bombas de Calor aerotérmicas e geotérmicas com recurso a armazenamento com material de mudança de fase (Fig. 6). O desempenho de cada um dos componentes em desenvolvimento tem de ser avaliado individualmente e em conjunto integrados nas diferentes tipologias de edifícios (residencial, comercial e público) pelo que o modelo contempla, também, o desenvolvimento de um módulo de simulação da área a climatizar. Serão consideradas diferentes condições climatológicas exteriores e diferentes necessidades no consumo de energia nas simulações do funcionamento do sistema proposto que utilizarão uma base de tempo horária durante um ano. Pretende-se avaliar o desempenho, quer em termos de produção/consumo de energia Elétrica, quer em termos de energia para Calor e Frio.

Será efetuada uma consulta ao mercado sobre os custos das opções utilizadas e o resultado final será expresso em termos de indicadores de avaliação técnico-económica, como por exemplo, o custo atualizado da energia (LCOE), a Taxa de Retorno do Investimento (TIR) e o Tempo de Retorno do Investimento (*Pay Back period*). Uma componente de análise dos indicadores anteriormente referidos está também associada ao modelo

Para a caracterização de alguns dos protótipos em desenvolvimento irão ser utilizados os dados que estão a ser recolhidos no âmbito do WP3, na instalação piloto em Ferrara, Itália e a validação global dos resultados do modelo relativos ao do sistema global será efetuada recorrendo aos dados que irão ser recolhidos nos protótipos que estão a ser construídos em Itália e na Irlanda.

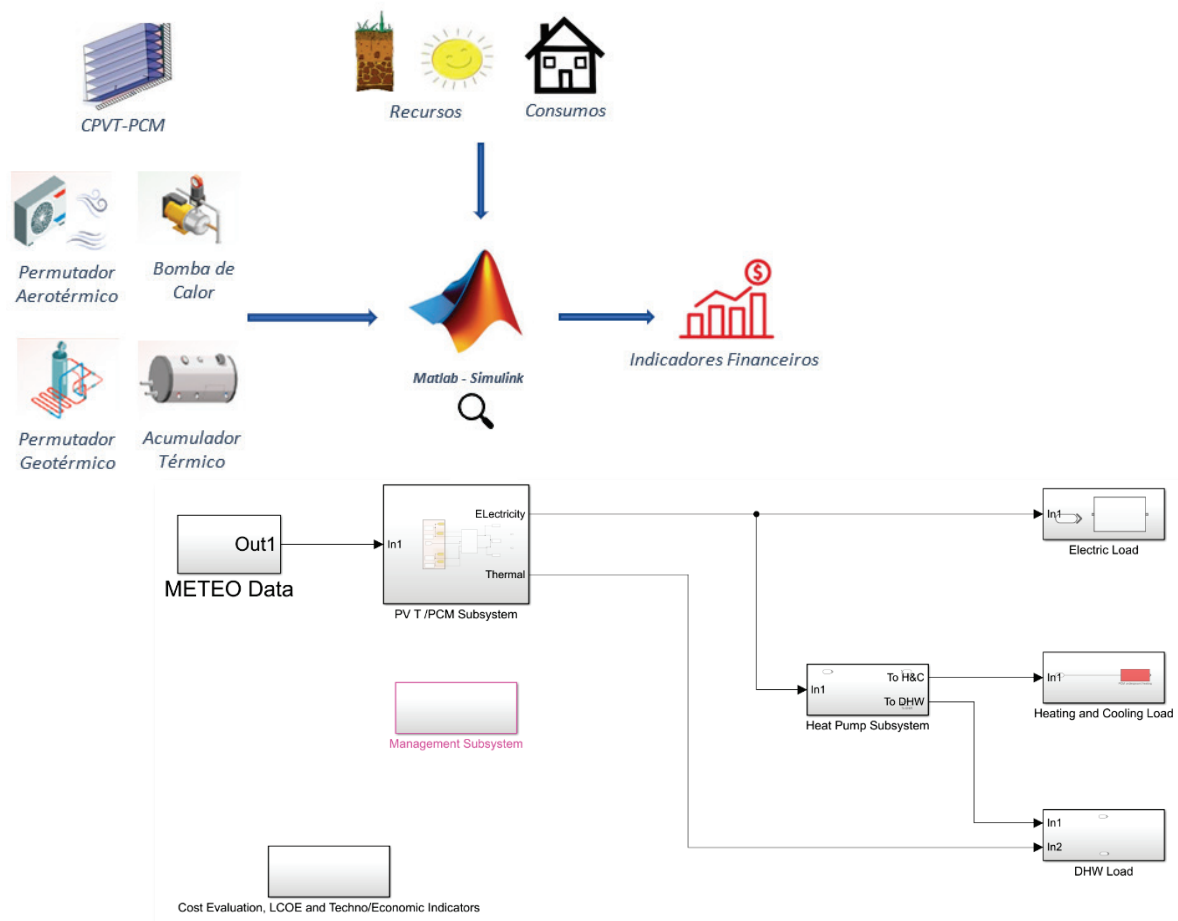


Fig. 6. Esquema Geral do Modelo IDEAS.

## CONCLUSÕES

No WPI do projeto IDEAS, os resultados preliminares de estudos fotofísicos obtidos no LNEG permitem concluir que os novos corantes sintetizados têm potencial para serem utilizados para a fabricação de camadas LDS de células fotovoltaicas, uma vez que apresentam alta absorção na região de 300 nm a 400 nm e banda de emissão de fluorescência próxima da região de maior rendimento quântico externo das células. O deslocamento de Stokes varia entre 146 nm e 253 nm, o que também é uma característica essencial na aplicação de um corante na camada LDS. No WP7, que o LNEG coordena, envolve a análise global do desempenho de todos os produtos do projeto IDEAS que estão em desenvolvimento nos *Work Packages* WP1, WP2, WP3 e WP4, nomeadamente a utilização dos CPCs, das camadas luminescentes e dos armazenamentos em materiais de mudança de fase, nos módulos PVT, a utilização conjunta de Bombas de Calor Aerotérmicas e Geotérmicas, assim como o desenvolvimento do sistema de gestão global do sistema, o que permitirá ter uma visão completa das vantagens técnico económicas do sistema de tri-geração para edifícios residenciais, comerciais e públicos do projeto IDEAS. Possibilita assim associar uma análise técnico-económica ao interesse deste tipo de edifícios no âmbito do conceito geral de edifícios nZEB.

## AGRADECIMENTOS

O projeto “IDEAS - Novel building Integration Designs for increased Efficiencies in Advanced climatically tunable renewable energy Systems” é financiado pelo programa de investigação e inovação da União Europeia Horizon 2020, através do contrato No 815271.

## REFERÊNCIAS

Horizon 2020 IDEAS. 2020. *Home - Horizon 2020 IDEAS*. [online] Available at: <<https://www.horizon2020ideas.eu/>> [Accessed 12 September 2020].

Ahmed, H.; Doran, J.; McCormack, S. J. (2016); Increased short-circuit current density and external quantum efficiency of silicon and dye sensitised solar cells through plasmonic luminescent down-shifting layers; *Sol. Energy*, 126, 146.

Fernandes, R. V.; Bristow, N.; Stoichkov, V.; Anizelli, H. S.; Duarte, J. L.; Laureto, E.; Kettle, J. (2017); Development of multidye UV filters for OPVs using luminescent materials - IOPscience ;*J. Phys. D. Appl. Phys.* 50, 025103.

Pardo Perdomo, A.; Vignoto Fernandes, R.; Artico Cordeiro, N. J.; Franchello, F.; Toledo Da Silva, M. A.; Leonil Duarte, J.; Laureto, E. (2020); Development of multidye UV filters for OPVs using luminescent materials - IOPscience *J. Appl. Phys.* 128, 035502.