

Plataforma de gestão de Energia para Edifícios do Exército

Jóni André Santo Bernardo
Academia Militar,
Exército Português
Lisboa, Portugal
bernardo.jas@exercito.pt

Énio Rodrigo Pereira Chambel
Direção Ensino, Academia Militar,
Exército Português
Lisboa, Portugal
chambel.erp@exercito.pt

Carlos Augusto Santos Silva
Instituto Superior Técnico
Universidade de Lisboa
Lisboa, Portugal
carlos.santos.silva@tecnico.ulisboa.pt

Resumo — Este trabalho consiste num estudo-projeto para gerir os consumos e aumentar a eficiência energética dos edifícios do Exército Português, tendo como objeto de estudo o campus da Academia Militar-Amadora. Este estudo está dividido em 2 fases, sendo que a primeira consiste na construção de um modelo energético urbano no City Energy Analyst do campus, e efetuar uma simulação dinâmica de forma a verificar os consumos do mesmo e verificar medidas para aumentar a eficiência energética do campus. A segunda fase consiste na construção de um modelo energético no DesignBuilder, utilizando como simulador dinâmico o EnergyPlus, do edifício que aloja os alunos, de forma a analisar os consumos de eletricidade, propor medidas de eficiência energética e simular o potencial de redução de custos elétricos e térmicos de um edifício que representa cerca de 12,5% das necessidades do campus. Com o objetivo de melhorar a eficiência energética do edifício foi realizado em simultâneo, uma auditoria e um estudo de dimensionamento de diversos sistemas, equipamentos e medidas de forma a reduzir os custos provenientes do edifício e a viabilidade económica da implementação dessas mudanças.

I. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas, resultantes da poluição do meio ambiente, não são nenhuma novidade do século XXI, sendo que a tentativa das reduções das emissões de carbono começou por volta da década de 80 e foi oficializado em termos globais através do Protocolo de Quioto em 1997. Foi com base neste protocolo que a Comissão Europeia (CE) publicou em 2018, retificando a diretiva de 2010/31/EU e 2012/27/EU, a diretiva 2018/844, também denominada como EPBD, Energy Performance of Buildings Directive, que visa reverter este paradigma, focando-se na eficiência energética e na performance da energia dos edifícios.

Neste âmbito, e com o intuito de atingir os objetivos estipulados no RNC2050 e no EPBD, foi desenvolvido o Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030 (PNEC 2030), oficializado com o Decreto-Lei nº64/2020, cujo a sua principal função é ser um instrumento de política energética e climática nacional para a década 2021-2030 com a intenção de atingir um futuro neutro em carbono e trazer benefícios a nível da saúde da população, na produtividade laboral e na valorização patrimonial [1].

Como tal, este artigo apresenta uma análise complexa aos consumos energéticos de uma das unidades do Exército Português, a Academia Militar na Amadora (AMA), no qual se estudam e observam os consumos energéticos no campus, se implementam medidas de poupança e é representado em 4D numa plataforma de gestão de energia por forma a facilitar a compreensão e alteração de medidas [2].

II. REVISÃO DA LITERATURA

A. City Energy Analyst

Atualmente as cidades consomem em média mais de 2/3 da energia primária e produzem mais de 70% dos GEE (Gases de Efeito de Estufa) globais [3]. Face a este consumo enorme de energia, Portugal adotou planos estratégicos de forma a aumentar a eficiência energética dos edifícios e a redução das emissões dos GEE, sendo o PNEC 2030 e o ELPRE os planos estratégicos em vigor.

De forma a gerir onde a energia é empregue e de forma a reduzir as emissões de GEE, as cidades necessitam de compreender que edifícios causam a emissão dos GEE, mas também que impacto futuro terão medidas a adotar na redução desses mesmos gases e consumo de energia. Essa análise é feita através de modelos de energia em edifícios, designados como BEM ou UBEM quando aplicados a uma escala urbana, estes permitem a análise individual de edifícios, como o balanço energético, balanço de massa, condições atmosféricas do interior e da periferia, consumos de energia, entre outros.

A criação de um edifício num modelo UBEM consiste na modelação da geometria do edifício e dos sistemas do edifício, no entanto inserir essa informação individual para cada edifício consiste num processo demorado e complexo e como tal criaram-se arquétipos, estes são elaborados em 2 fases, sendo a primeira a segmentação e a segunda a caracterização na qual colocamos a informação de um edifício típico de uma certa categoria. Após ter os arquétipos definidos é iniciada a simulação termodinâmica. Esta simulação normalmente é executada utilizando apenas uma zona de arquétipo em regime transiente, de modo a simplificar cálculos, que também pode ser executada em regime dinâmico, obedecendo a critérios estabelecidos de acordo com o ASHRAE 90.1, ISO 13790 e ISO 13780 [3].

O City Energy Analyst (CEA) consiste numa simulação combinada entre planos urbanos, sistemas de energia e processos de engenharia de forma a obter os efeitos, *trade-offs* e sinergias entre os projetos e planos de infraestruturas energéticas [4]. O CEA permite a construção e modelagem de modelos paramétricos de edifícios em, permitindo a sua análise consoante a luz solar, ciclo de vida e a variação das escalas espaciais e temporais [5].

A funcionalidade genérica do CEA consiste então no armazenamento, análise e visualização da informação dos modelos urbanos energéticos em escalas temporais e espaciais, analisa os serviços de energia em edifícios, as necessidades de potência dos mesmos, radiação solar nas superfícies dos edifícios, fenómeno do sombreamento próprio, interação do

edifício em estudo com a sua vizinhança, características próprias devido à sua geometria e envolvente e vários sistemas AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) e serviços de energia.

B. Auditoria Energética

A auditoria energética consiste numa análise detalhada de todos os consumos relativamente a consumos e utilização de energia relativamente ao aquecimento, arrefecimento, AQS (Águas Quentes Sanitárias), iluminação, ventilação, equipamentos, entre outros.

Pretende adquirir as informações relativas ao consumo de energia, contabilizar os consumos de energia, dispor de dados para decidir, agir para otimizar e controlar as situações com o fim de alcançar benefícios a nível económico, ambiental e social [5].

Como tal a elaboração de uma auditoria é efetuada em quatro passos, sendo eles a preparação da auditoria, intervenção no local da instalação, tratamento da informação recolhida e por fim a elaboração do relatório da auditoria energética.

Para atingir os objetivos estipulados a auditoria poderá auxiliar-se do uso de equipamentos de registo de consumos ou de simuladores dinâmicos, como o *DesignBuilder*, que adquirem valores de consumos próximos da realidade e são admissíveis desde que o CVRSME (*Coefficient of Variation of the Root Mean Squared Error*) seja inferior a 25% para o consumo elétrico relativamente a um mês e inferior a 35% se for relativamente a um ano ou mais [6].

III. CASO DE ESTUDO

O caso estudo deste artigo está dividido em 2 fases, sendo a primeira a gestão dos consumos e os dados energéticos do campus do AMA como um todo, tendo em consideração os edifícios todos da AMA bem como o seu consumo em geral e o processamento dos dados no CEA de modo a aumentar a eficiência energética do campus. A segunda fase consiste na gestão dos consumos e dos dados energéticos do edifício que aloja os alunos do 3º e 4º ano da AMA, que após a aquisição dos respetivos dados, são simulados os consumos e medidas de eficiência energética no *DesignBuilder*.

De forma a obter os dados para efetuar as simulações pretendidas, é efetuada uma auditoria e caracterização dos espaços do edifício, dos seus equipamentos e respetivas potências nominais. É feito um estudo aos perfis de ocupação dos espaços, da potência instalada em iluminação, em equipamentos e ao sistema AVAC, no qual se concluiu que o edifício em questão possui um consumo equivalente a 12,5% do consumo da AMA. Sendo que o consumo elétrico anual do AMA corresponde, em média, a 970,225 MWh sendo a sua tarifa elétrica de consumo de 0,11871 €/KWh, o que corresponde a 115 175,41 €/ano. Relativamente ao edifício em estudo, e tendo em conta que a maior parte dos gastos são em tarifas noturnas, este possui um consumo anual elétrico, em média, de 120,987 MWh e sendo a sua tarifa elétrica de consumo de 0,12019 €/KWh, corresponde a 14 541,42 €/ano.

Relativamente aos consumos térmicos, neste caso o consumo de gás natural, o AMA possui aproximadamente um consumo anual, em média, de 654,195 MWh, sendo a sua tarifa de consumo de 0,0362 €/KWh, que corresponde a 23 681,86

€/ano. No que respeita ao consumo de gás natural do edifício em estudo, este possui aproximadamente um consumo de 327 MWh, que corresponde a 11 837 €/ano.

IV. MODELAÇÃO ENERGÉTICA DO CAMPUS NO CEA

Utilizando o CEA é elaborado um modelo energético que represente a AMA, no qual é atribuído os valores dos respetivos edifícios presentes no campus, sendo que em primeiro lugar é atribuído as características físicas e, de seguida, é estipulado a categoria e tipologia a que cada edifício pertence com base nas normas ISO13790 e o estilo de ocupação. Após estipuladas as categorias, são registadas as informações acerca da envolvente do edifício.

Por fim são acrescentados os dados dos ganhos internos, temperaturas de conforto e de ajuste, os sistemas AVAC e de AQS presentes em cada edifício e as suas respetivas fontes de alimentação para cada tipo de energia.

Após o registo de dados, são efetuadas diversas simulações de forma a obter a irradiação solar, os consumos anuais e a potencialidade da instalação de painéis solares em edifícios e em quais seria mais viável a sua aplicabilidade.

V. MODELAÇÃO ENERGÉTICA DO EDIFÍCIO NO DESIGNBUILDER

No *DesignBuilder* é elaborado um modelo geométrico BEM que representa o edifício das casernas da 3ª e 4ª Companhia, edifício que aloja os alunos do 3º e 4º ano da AM. Após feita a modelação geométrica são inseridos os dados relativamente à sua envolvente, perfis de horários de ocupação, iluminação e de equipamentos, sistemas, ventilação e infiltração.

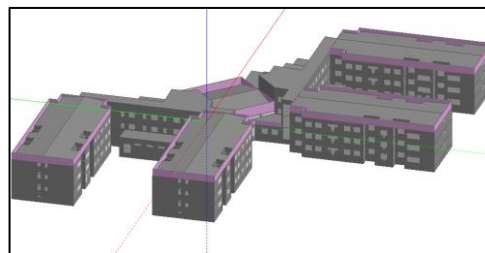


Figura 1. Modelo Geométrico do Edifício

Após a inserção dos dados comuns foram realizados 4 modelos energéticos em que difere a estrutura do sistema AVAC e o do AQS, sendo eles definidos como:

Simulação 1 – Sistema de aquecimento do espaço através de termoventiladores elétricos e aquecimentos de AQS através de caldeiras de condensação a gás natural;

Simulação 2 – Sistema de aquecimento do espaço através de radiadores a água e aquecimento de AQS através de caldeiras de condensação alimentadas com gás natural;

Simulação 3 – Sistema de aquecimento do espaço através de radiadores a água e aquecimento de AQS através de painéis solares térmicos e as caldeiras de condensação a gás natural, sendo elas as principais fontes de aquecimento da água a injetar nos radiadores;

Simulação 4 – Sistema de aquecimento do espaço através de radiadores a água e aquecimento de AQS através de 2 bombas de calor industrial, sendo a fonte de energia elétrica proveniente da rede e de um sistema de painéis solares fotovoltaicos, sendo

a primeira modalidade constituída por uma potência de 56,7 KWp e a outra de 113,4 KWp, instalada no telhado do próprio edifício.

VI. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A. Simulação no CEA

Após as atribuições dos dados necessários para os arquétipos do CEA, é efetuado as simulações de radiação solar e de consumos presentes no campus o que permitiu observar que o edifício com maior consumo em termos elétricos, consiste no edifício A, o edifício de gabinetes, laboratórios, salas de aulas, biblioteca e servidores.

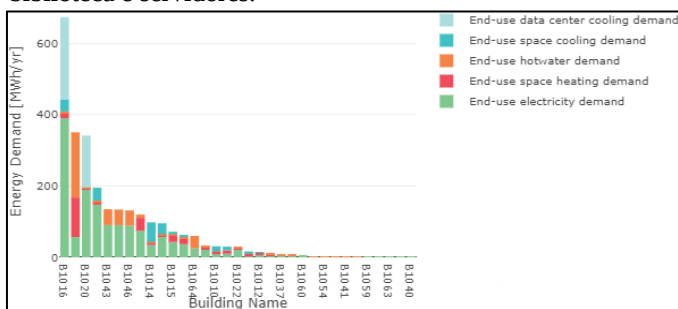


Figura 2. Energia Útil dos edifícios da AMA no CEA

Relativamente ao potencial para a instalação de painéis solares fotovoltaicos, com base na área bruta ocupada pelos edifícios, sendo que por cada metro quadrado é possível produzir em média 54,68 KWh/ano, verifica-se que o máximo de produção de eletricidade no mês de julho é de 2 168,9 MWh, com os painéis instalados nos telhados todos da AMA.

B. Simulação no DesignBuilder

Este modelo apresenta um grau de complexidade elevado pois apresenta todos os espaços e divisões que o edifício possui desde gabinetes, quartos, casa-de-banho, lavandaria, salas de estudos, sala de arrumações e outros, sendo que a simulação dinâmica energética foi elaborada pelo *EnergyPlus*.

Portanto, para a simulação 1, foi obtido um consumo anual elétrico de 111 474,79 KWh e um consumo anual de gás natural de 391 835,54 KWh, e tendo em conta as tarifas aplicadas à AMA, no consumo elétrico e do gás natural, perfaz uma despesa anual de 27 567,45 €. Em termos de validação anual, esta simulação obteve um CVMRSE de 4%.

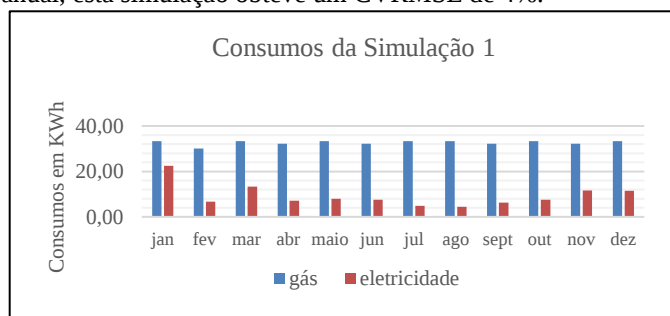


Figura 3. Consumos mensais da Simulação 1

Para a simulação 2 foi obtido um consumo anual elétrico de 71 893,57 KWh e um consumo anual de gás natural de

402 868,94 KWh e tendo em conta as tarifas aplicadas à AMA perfaz uma despesa anual de 23 209,26 €. Esta modalidade permite uma poupança anual, comparando com a simulação 1, de 4 358,19 €.

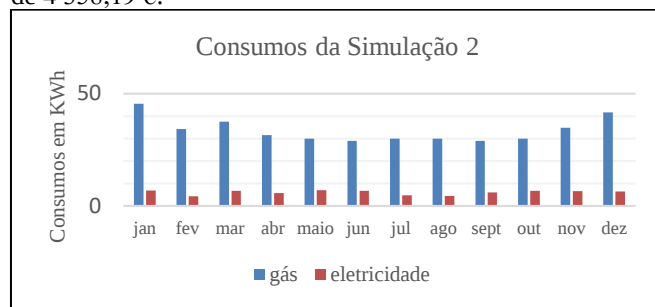


Figura 4. Consumos mensais da Simulação 2

Para implementar o sistema simulado na Simulação 2, assumindo um custo de manutenção anual e bienal equivalente a 1% e 2%, respetivamente, do investimento inicial, o valor máximo de investimento inicial corresponde a 46 311,26 €.

TABELA 1. VIABILIDADE ECONÓMICA DO SISTEMA DA SIMULAÇÃO 2

	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	...	Ano 15
Poupanças		4 358,19 €	4 358,19 €	4 358,19 €	...	4 358,19 €
NPV			0			
Obtemos que						
Investimento			- 46 311,26 €			
Manutenção		- 463,11 €	- 463,11 €	- 926,23 €	...	- 926,23 €
Cashflow	-46 311,26 €	3 837,51 €	3 780,80 €	3 282,05 €	...	2 745,06 €
TIR			1%			

Para a simulação 3 foi obtido um consumo anual elétrico de 77 207,69 KWh e um consumo anual de gás natural de 346 700,75 KWh e tendo em conta as tarifas aplicadas à AMA perfaz uma despesa anual de 21 816,81 €. Esta modalidade permite uma poupança anual, comparando com a simulação 1, de 5 750, 64 €.

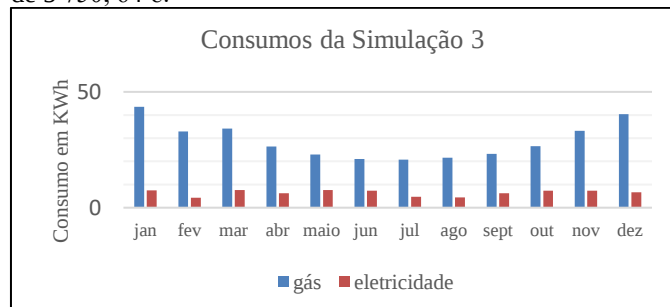


Figura 5. Consumos mensais da Simulação 3

Para implementar o sistema simulado na Simulação 3, assumindo um custo de manutenção anual e bienal equivalente a 1% e 2%, respetivamente, do investimento inicial, o valor máximo de investimento inicial corresponde a 59 507,22 €.

TABELA 2. VIABILIDADE ECONÓMICA DO SISTEMA DA SIMULAÇÃO 3

	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	...	Ano 15
Poupanças		5 750,64 €	5 750,64 €	5 750,64 €	...	5 750,64 €
NPV			0			
Obtemos que						

Investimento	- 59 507,22 €					
Manutenção		- 640,50 €	-1 280,99 €	- 640,50 €	...	- 640,50 €
Cashflow	- 59 507,22 €	5 034,63 €	4 338,52 €	4 886,92 €	...	4 087,36 €
TIR	1%					

Para a simulação 4 foi obtido um consumo elétrico de 304 696,48 KWh, sendo que devido à instalação dos painéis fotovoltaicos de 57 KWp, estes contribuem para 30% do consumo do edifício, totalizando um consumo elétrico extraído da rede igual a 210 755,74 KWh, que perfaz um custo total de 25 330,68€ assumindo as tarifas que a AMA está sujeita. Esta modalidade permite uma poupança anual, comparando com a simulação 1, de 2 236,77 €. Sendo que deixou de haver a necessidade de haver o consumo de gás natural.

A instalação de painéis fotovoltaicos com uma potência total de 57 KWp torna-se inviável economicamente e como tal é necessário aumentar a potência instalada dos painéis fotovoltaicos, assumindo que tudo o que é produzido é consumido pelo campus e, como tal, adotou-se uma instalação de 114 KWp, que permite um custo total anual de 14 040,45 €, permitindo uma poupança anual, comparando com a simulação 1, de 13 527 €, sendo a produção elétrica dos painéis o principal fator pela diminuição dos custos elétricos.

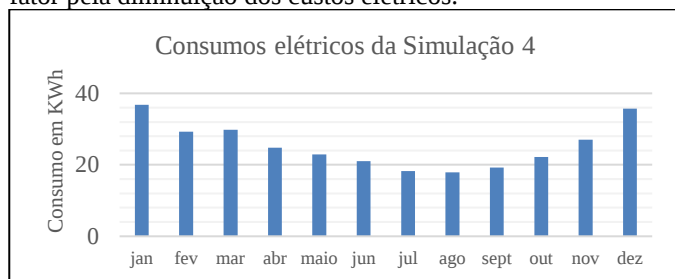


Figura 6. Consumos mensais da Simulação 4 para 57 KWp

Para implementar o sistema simulado na Simulação 4, para uma instalação de fotovoltaicos com uma potência de 114 KWp, assumindo um custo de manutenção anual e bienal equivalente a 1% e 2%, respetivamente, do investimento inicial, o valor máximo de investimento inicial corresponde a 141 616,63 €.

TABELA 3. VIABILIDADE ECONÓMICA DO SISTEMA DA SIMULAÇÃO 4

	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	...	Ano 15
Poupanças		13 527 €	13 527 €	13 527 €	...	13 527 €
NPV	0					
Obtemos que						
Investimento	- 141 616,63 €					
Manutenção		- 1 416,17 €	- 2 832,33 €	- 1 416,17 €	...	- 1 416,17 €
Cashflow	-141 616,63 €	11 931,86 €	10 380,90 €	11 581,80 €	...	9 686,87 €
TIR	1%					

VII. CONCLUSÃO

Tendo em conta o panorama e a conjuntura atual que se vive nas forças armadas, o termo de ordem comum a todos os ramos é de contenção de custos e racionalização dos recursos. Nesse âmbito, a eficiência no emprego dos meios e dos recursos

assume um papel vital para o cumprimento das missões atribuídas.

Para poder atuar com critério e de forma eficaz no processo de redução do consumo energético e na sua eficiência é impreterível que se saiba quando, onde e quanto se consome de energia elétrica. Segundo os resultados da análise das simulações foi possível aferir os consumos e comparar os valores relativamente ao campus e a viabilidade económica da adoção de sistemas diferentes.

Através da modelação geométrica e simulação dinâmica do edifício que aloja os alunos, é possível averiguar que a modalidade adotada na simulação 1, que corresponde a que a AMA atualmente adota, corresponde à medida mais dispendiosa, pois se a AMA adotar a medida sugerida na simulação 2 para as duas casernas, ou seja para as 4 Companhias, a AMA consegue poupar 8 716,38 € anuais se optar pelo aquecimento dos quarto através do uso dos radiadores e o gás natural como fonte de aqueciemtno das águas de AQS e dos radiadores.

No entanto, a simulação 3, a adoção de paineis solares térmicos, permite poupar anualmente 11 501,28 €, no entanto necessita da instalação de um sistema complementar, o que envolve custos iniciais, mas possui um maior retorno a longo prazo, sendo este prazo dependente do investimento inicial real.

A adoção do sistema da simulação 4, é o que permite a maior poupança anual e a maior redução de emissões de GEE, porém, consiste no sistema com o investimento inicial mais alto mas também o que apresenta o maior retorno do investimento e redução de custos a longo prazo.

Por fim, e utilizando a simulação primária no *DesignBuilder*, é feito uma extração sumária dos consumos gerais e específicos do edifício e insere-se esses mesmos dados nos arquétipos do CEA, sendo esta metodologia a mais fácil de implementar de modo a obter arquétipos precisos e realistas dos consumos de diferentes categorias de edifícios pertencentes ao Exército Português. Esta metodologia permite a gestão e controlo dos consumos das unidades militares numa escala a nível macro (campus), mas também a um nível micro (edifício/setor de edifício).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- [1] Agência Portuguesa do Ambiente, "Protocolo Quioto," 1997. [Online]. Available: <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=119&sub3ref=500>.
- [2] DGEG, "Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios." [Online]. Available: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/diretiva-do-desempenho-energetico-dos-edificios/diretiva-dos-edificios/>
- [3] Y. Chen and T. Hong, "Impacts of building geometry modeling methods on the simulation results of urban building energy models," *Appl. Energy*, vol. 215, pp. 717–735, 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.02.073
- [4] C. F. Reinhart and C. Cerezo Davila, "Urban building energy modeling - A review of a nascent field," *Build. Environ.*, vol. 97, pp. 196–202, 2016, doi: 10.1016/j.buildenv.2015.12.001
- [5] CEA, "The City Energy Analyst," 2020.
- [6] J. A. Fonseca, "Energy efficiency strategies in urban communities: modeling, analysis and assessment," p. 89, 2016, doi: <https://dx.doi.org/10.3929/ethz-a-010639933>