

Utilização do CEA na Gestão de Energia dos Edifícios do Exército

António Gonçalves^{1,2}Carlos Silva²Énio Chambel¹¹CINAMIL, Academia Militar – Lisboa, Portugal²INESC-ID, Instituto Superior Técnico – Lisboa, Portugal

goncalves.apns@exercito.pt

carlos.santos.silva@tecnico.ulisboa.pt

enio.chambel@academiamilitar.pt

Abstract—Os últimos anos mostraram que eventos extraordinários como a pandemia e o conflito entre a Rússia e a Ucrânia, alteraram por completo o panorama energético. Consequentemente, estes eventos provocaram a desordem e um grande choque noutras áreas como a saúde e economia com impacto no quotidiano das pessoas e das instituições. Contudo, a utilização de energias renováveis e a implementação de eficiência energética, tornam os sistemas mais resilientes a este tipo de alterações extremas, contribuindo assim para uma transição energética mais sustentável. Este trabalho consiste na aplicabilidade de um software de simulação energética em edifícios (CEA) que visa avaliar a implementação de eficiência energética em edifícios, assim como analisar o potencial de utilização de fontes renováveis nas unidades do Exército Português, usando como caso de estudo o Aquartelamento da Academia Militar da Amadora (AAMA). Desta forma, este programa servirá como uma ferramenta de apoio na gestão de consumos e para aumentar a eficiência energética dos edifícios.

Keywords: Unidades Militares, Consumo Energético, Simulação Energética, City Energy Analyst, Eficiência Energética

I. INTRODUÇÃO

A sociedade depende da energia para levar a cabo as suas actividades diárias. Além disso, é necessária para sustentar e melhorar a qualidade de vida de cada ser humano. A taxa de consumo de energia per capita é um indicador de qualidade de vida e bem-estar [1].

Contudo, satisfazer o crescente consumo de energia de uma forma segura e ambientalmente responsável é um desafio fundamental. Ao longo dos anos, o mundo tem testemunhado alguns episódios graves no que diz respeito ao sistema energético global. Os últimos dois anos, também serão recordados pela pandemia da COVID-19 e pela guerra na Ucrânia, que abalou o mundo a todos os níveis [2].

É evidente que tanto a pandemia como o conflito entre a Rússia e a Ucrânia alteraram completamente o panorama energético. Apesar da desordem de 2020, a energia renovável, liderada pela energia eólica e solar, tem continuado a crescer. A relativa imunidade das energias renováveis aos acontecimentos dos últimos anos é promissora, prevendo-se um crescimento em 2050 de 14% face a 2016. Neste tempo de incerteza do mercado global, o que sabemos é que o mundo precisa de energia em quantidades crescentes para apoiar o progresso económico e social, a fim de construir uma melhor qualidade de vida. No entanto, a disponibilização dessa energia a todos no mundo vem com a responsabilidade e o compromisso de desenvolver e utilizar os nossos recursos de forma responsável [3].

O setor dos edifícios, que representa aproximadamente 40% da energia final na Europa e cerca de 30% em Portugal, teve um investimento de 190 biliões de dólares americanos no ano 2021 em medidas de eficiência energética em edifícios, que corresponde a mais 20% em relação a 2019. Embora a atividade global de construção se tenha contraído durante grande parte de 2020, os investimentos em eficiência energética em edifícios na Europa aumentaram fortemente o suficiente para impulsionar os investimentos globais nessa área em 11%, para quase 180 biliões de dólares. A maior parte deste aumento deveu-se à intensificação das políticas de eficiência implementadas antes de 2020 [4].

Os Estados membros da União Europeia (UE) têm vindo a promover um conjunto de medidas para impulsionar a melhoria do desempenho energético e das condições de conforto dos edifícios. Neste sentido, e com base no Acordo de Paris, a Comissão Europeia (CE) publicou em 2018, a directiva 2018/844, também chamada EPBD, Directiva sobre o Desempenho Energético dos Edifícios. Esta directiva visa reduzir pelo menos 40% das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) em 2030 em comparação com 1990, aumentar o consumo de energia renovável e melhorar a segurança energética, competitividade e sustentabilidade da UE em determinados períodos de tempo. Os períodos definidos foram 2030, 2040 e 2050 para o curto, médio e longo prazo, respectivamente. [5]

Em Portugal, a operacionalização do Plano Nacional de Energia e Clima (PNEC 2030), o Roteiro para a Neutralidade do Carbono 2050, e em 2019, a Estratégia a Longo Prazo para a Renovação da Construção (ELPRE), mostram que é prioritário atingir objectivos como a redução da factura energética e da dependência do país, o aumento da eficiência energética, a promoção da utilização de energia de fontes renováveis, a descarbonização da economia nacional, e a garantia de uma transição justa, democrática e coesa.

Os sistemas energéticos que precisam de emergir durante a transição de energia limpa são muito diferentes dos que existem actualmente. No sistema energético do futuro, o consumo resume-se à electricidade, que é cada vez mais utilizada pelas famílias e indústrias [6]. Para alcançar esta transição e os objectivos do parágrafo anterior, torna-se necessária uma grande intervenção na eficiência energética, com a possibilidade de uma redução de 50% no consumo de energia em Portugal [7].

II. METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada a metodologia utilizada e em cada secção serão descritos em detalhe os aspetos referentes a cada uma. Os procedimentos efetuados relativos ao método de estudo aplicado no presente trabalho são apresentados na figura 1.

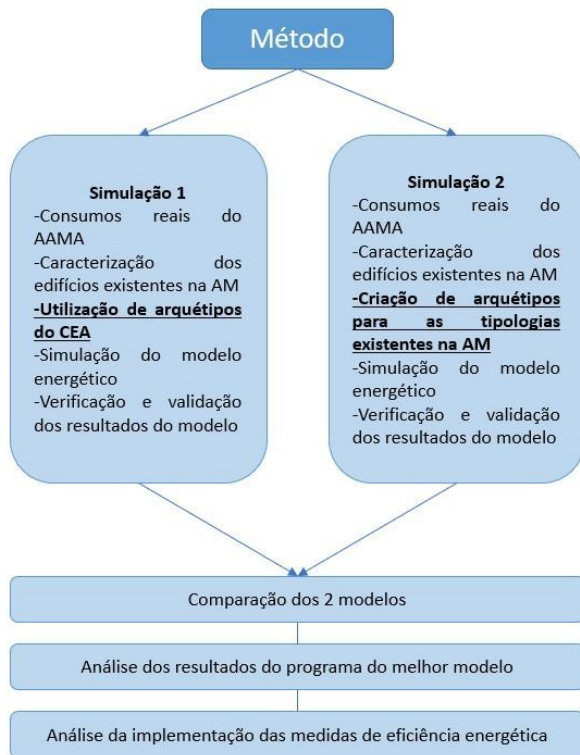


Fig. 1. Procedimentos efetuados para o caso de estudo

A. Caracterização dos edifícios existentes na AM

O primeiro passo, e um dos aspetos principais na criação de um *Urban Building Energy Model* (UBEM), é a recolha de dados da geometria e sistemas de cada edifício. Os dados relativos à geometria do edifício podem ser adquiridos através de bases de dados de sistemas de informação geográfica já existentes ou criadas de raiz. Este tipo de dados contempla a altura e forma do edifício, número de andares, etc. Os sistemas do edifício incluem a construção, envolvente, equipamentos, iluminação, sistemas AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado), sistemas AQS (Águas Quentes Sanitárias) e sistemas de fornecimento do edifício. Os dados dos sistemas do edifício são inseridos num arquétipo já estabelecido para um certo tipo de edifícios ou este é criado e os dados são inseridos manualmente [8].

B. Criação de arquétipos para as tipologias existentes

Numa segunda fase são criados os arquétipos para cada categoria de edifícios presente na AM. Edifícios de uso semelhante, ano de construção e tamanho podem ser organizados em arquétipos e pode ser criada uma base de dados de arquétipos,

partindo de uma combinação de dados [8]. Enquanto para a geometria os dados podiam ser medidos para um grupo limitado de edifícios, para os sistemas, as medições tornam-se impraticáveis quando se quer analisar um grupo de edifícios com os consumos divergentes entre si. Assim, agruparam-se os edifícios de categorias parecidas por consumos semelhantes, considerando ferramentas estatísticas para criar um arquétipo de edifício que represente esses mesmos edifícios.

C. Ferramenta UBE – CEA

Em relação às ferramentas UBE, utilizou-se o software City Energy Analyst (CEA) para a simulação termodinâmica que obedece aos critérios estabelecidos de acordo com o ASHRAE 90.1, ISO 13790 e ISO 13780 [9]. Esta ferramenta apresenta boas faculdades como a capacidade de desenvolver modelos numa só interface que permite uma melhor compreensão para a tomada de decisão e funciona como uma toolbox no programa ArcGIS. Este programa é intuitivo e é possível a visualização do Campus e dos edifícios alvos do estudo.

D. Análise dos resultados do programa

Nesta etapa são apresentados e analisados os resultados da simulação. Na plataforma são apresentados dois cenários: um utilizando apenas os arquétipos já existentes no CEA com base em edifícios suíços e outro aplicando os arquétipos criados com base nos edifícios do AAMA. Pelos dados dos consumos mensais do AAMA, procedeu-se à verificação e validação dos resultados do programa. Através destes dados realizou-se uma análise de ciclo de vida com auxílio ao CEA, quanto aos custos e emissões dos edifícios do campus, e determinou-se o impacto de cada edifício no valor total do consumo do AAMA. Após analisar os edifícios mais impactantes no consumo do AAMA, identificou-se a necessidade de melhorar a eficiência energética destes edifícios, tendo-se implementado para esses medidas que respondessem a esse indicador.

E. Análise da implementação das medidas de eficiência energética

Com a necessidade de melhorar a eficiência energética dos edifícios identificados como os de maior consumo, foram apresentadas medidas ativas e passivas, tendo em consideração o PNEC 2030. Estas medidas para otimização energética dos edifícios do campus foram analisadas de acordo com viabilidade tecnológica e económica. Este estudo pretende também mostrar a redução de tempo e o esforço necessário na avaliação das políticas de redução de consumo energético e emissões de carbono.

III. CASO DE ESTUDO

Para o cumprimento do objetivo do presente trabalho, o Aquartelamento da Academia Militar da Amadora (AAMA) foi escolhido para caso de estudo, dado a ter uma grande diversidade de tipologias de consumo nos vários edifícios presentes nas diferentes unidades militares do Exército Português, onde o perfil de ocupação é semelhante. Desta forma, o estudo

irá ser conduzido nesta unidade militar que servirá de base para aumentar a eficiência energética de todos os edifícios do Exército Português, de tal forma que se baixe o valor da fatura energética, uma vez que estes são os principais motivos de uma parcela significativa desta fatura.

Numa primeira parte foi feita uma caracterização mais detalhada do AAMA, bem como os seus consumos e tarifas associados. Numa segunda parte, foi feita a caracterização das diversas tipologias de consumos nos diferentes edifícios existentes no AAMA, para posteriormente serem processados no CEA.

IV. MODELAÇÃO ENERGÉTICA COM O CEA

A. Dados

Um projeto feito no CEA apresenta 7 bases de dados primárias, 4 secundárias e 7 padrão. As bases de dados primárias são a entrada mínima exigida no CEA.

As bases de dados secundárias são compostas pela arquitetura, ganhos internos, conforto interno e sistemas técnicos. Estas podem ser geradas, alternativamente, a partir das bases de dados de idade, ocupação e propriedades de arquétipos. Esta última faz parte da base de dados padrão, onde o CEA consegue ir buscar estes dados automaticamente. Atualmente, o CEA inclui esta base de dados para os estudos de caso suíços e de Singapura. Por este motivo, é necessário personalizar estes dados para o presente estudo de caso. Assim sendo, alterou-se os dados do ficheiro suíço, pois entre os dois apresentados é o que mais se assemelha a Portugal. Os dados padrão são compostos por 7 conjuntos: ciclo de vida dos sistemas e edifícios, propriedades e horários de arquétipos, propriedades da envolvente emissões e dados incertos. Obteve-se um total de 76 geometrias representadas na figura 2 e procedeu-se à restante discretização dos parâmetros de cada edifício.



Fig. 2. Representação do AAMA em 3D e 2D no CEA.

B. Resultados

Este subcapítulo apresenta os resultados dos dois cenários apresentados.

1) *Verificação e Validação do Modelo Computacional:* Após as simulações dos modelos energéticos dos dois cenários apresentados, foi de imediato feita a verificação e validação dos dados apresentados pelo programa. Desta forma, comparou-se os dados relativos aos consumos mensais previstos pelo programa para cada um dos cenários (com

arquétipos já existentes do CEA e com os arquétipos criados neste trabalho para o caso de estudo em causa), presentes nas figuras 3 e 4, com os valores reais dos consumos do AAMA.



Fig. 3. Consumos mensais do AAMA de acordo com os arquétipos do CEA.

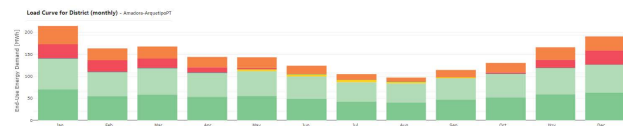


Fig. 4. Consumos mensais do AAMA de acordo com os arquétipos criados.

Assim, calculando o valor total de energia consumido pelo campus (eletricidade+gás natural), mensalmente, é possível comparar este valor com os dos modelos energéticos. Verifica-se que os valores do modelo energético com arquétipos do CEA, estão muito aquém do estipulado pela diretiva do ASHRAE que indica que um bom ajuste do modelo deve ter um CV(RMSE) igual ou abaixo de 25% para se considerar que os recursos preditivos são aceitáveis e confiáveis. Esta disparidade pode-se justificar com o facto destes modelos serem elaborados para edifícios suíços, onde se denota que utilizam os sistemas de aquecimento de forma mais frequente comparativamente com Portugal devido às diferenças do clima, notando-se uma visível diferença no que toca aos consumos de aquecimento. Assim, conclui-se que este modelo não está atualizado. Por outro lado, os consumos relativos ao modelo utilizado com os arquétipos elaborados, demonstram que os recursos preditivos são aceitáveis e confiáveis, apresentando um CV(RMSE) abaixo de 25%. Este modelo apresenta um CV(RMSE) de 17.95%, 16.87% e de 10.53%, comparando com os anos de 2019, 2020 e 2021, respetivamente. Conclui-se que os arquétipos estão bem elaborados para o local do caso de estudo e que estes podem ser utilizados para prever os consumos de estabelecimentos semelhantes ao do campus como por exemplo outras unidades militares. Embora apresentem um erro reduzido que pode ser justificado com pequenas diferenças anuais, como por exemplo, o número de habitantes a diferir de ano para ano e quanto tempo os equipamentos estão ligados, etc., estes arquétipos podem ainda ser melhorados com pequenos detalhes. Para uma melhor visualização das diferenças entre os dois modelos energéticos e os consumos reais, a figura 5 mostra estes dados em forma de gráfico de barras.

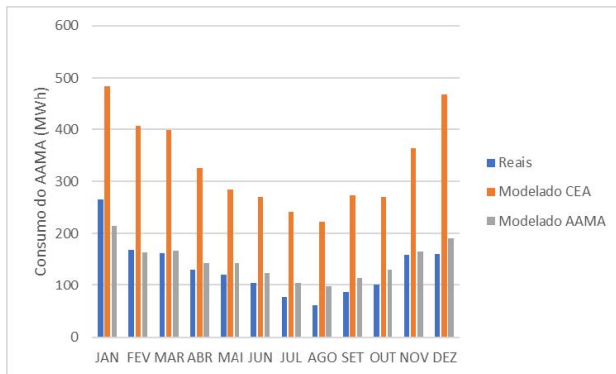


Fig. 5. Comparação dos consumos reais com os dos modelos energéticos.

2) *Resultados*: Os resultados do modelo energético correspondentes aos arquétipos criados nesta dissertação são analisados nesta secção. Quanto ao consumo dos edifícios, este depende de vários aspetos como a envolvente, sistemas, iluminação, comportamento dos seus utilizadores, dados climáticos, etc... Desta forma, e com o objetivo de prever o impacto de cada edifício no AAMA e colaborar para a sua modernização, fez-se uma abordagem simultânea dos edifícios do AAMA no CEA. A figura 6 representa então os consumos anuais dos diversos setores dos edifícios.

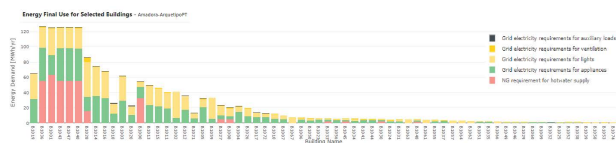


Fig. 6. Consumos anuais dos diversos setores dos edifícios.

Nestes dados é possível averiguar quais são os setores com maior consumo do AAMA, no entanto, pretende-se também uma análise por edifício no global. Logo, juntou-se os setores por edifício para determinar o impacto de cada edifício no valor total do consumo do AAMA. Estes dados estão expostos na figura 7.



Fig. 7. Impacto de cada edifício no valor total do consumo do AAMA.

Através da figura 7, observa-se que as casernas dos alunos são os edifícios que mais consomem energia (17.6% cada), seguidos dos edifícios de aulas (A:12.3% e B:10.4%),

refeitório (7.9%), edifício de comando (7.8%), edifício do bar de alunos (6.7%) e outros. É evidente o elevado impacto das casernas dos alunos e dos edifícios de aulas, representando 57.8% do consumo total do campus. Estes valores são expectáveis, uma vez que são estes os edifícios com um maior perfil ocupacional, portanto de um maior consumo energético. Assim, devem ser tomadas medidas de eficiência energética de forma prioritária nestes edifícios, porque representam a maior fatia do consumo do campus.

V. OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA

Para aumentar a eficiência e reduzir as necessidades energéticas de um edifício é necessário um investimento. A decisão de tomar este investimento é feita após elaborar um balanço que permite à instituição visualizar a que prazo obtém o retorno do investimento. A análise do retorno é feita com base no valor que se pouparia a cada mês/ano até este abater o valor do investimento. Com vista a expor alternativas renováveis e mais sustentáveis no AAMA, apresentam-se dois meios para o alcançar, em que um visa produzir energia elétrica de forma renovável e outro que apresenta diversas medidas para reduzir o consumo desta energia.

A. Simulações do potencial de energias renováveis

As necessidades energéticas do AAMA estão, atualmente, todas garantidas pela rede. Neste subcapítulo é apresentada uma forma de complementar este fornecimento através de fontes de energia renovável.

1) *Solar Potential*: O potencial de todos os edifícios do AAMA foi simulado no CEA e está apresentado na figura 8. É de referir que se uma radiação de 1000 W/m² estiver sobre uma superfície de 1 m² por 1 hora ela produz 1000 Wh (ou 1 kWh).

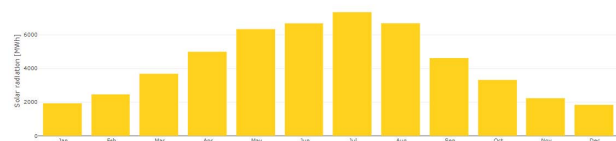


Fig. 8. Potencial Solar do AAMA.

Através da figura 8, vê-se o enorme potencial solar dos edifícios do campus. Desta forma fez-se a análise de implementar painéis fotovoltaicos, painéis fotovoltaicos-térmicos e coletores solares nos telhados dos edifícios do AAMA.

Para fazer a simulação do potencial de painéis fotovoltaicos utilizou-se novamente o CEA já que este aproveita o modelo já realizado. Este calcula a produção mensal de kWh por m² de área útil de telhado do campus ou dos edifícios escolhidos. A figura 9 mostra o potencial fotovoltaico por área útil dos telhados do AAMA.

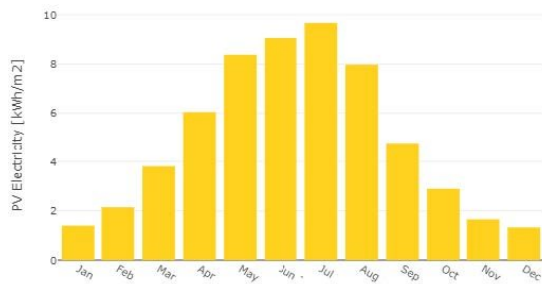


Fig. 9. Potencial fotovoltaico por área útil.

Com base no gráfico da figura 9, a produção anual de energia de painéis fotovoltaicos nos telhados dos edifícios do AAMA situa-se nos 59.11 kWh/m². Para saber qual a área necessária para cobrir o valor dos consumos de eletricidade ($\approx 980\text{MWh}$), ou seja, para tornar o campus autossuficiente a nível de eletricidade, calculou-se o quociente entre os consumos elétricos pela produção anual de energia de painéis fotovoltaicos por área útil dos telhados do AAMA, totalizando uma área de, aproximadamente, 16 500 m². Considerando um painel de 2 m², seriam necessários 8 250 painéis e estes sendo adquiridos com um custo unitário de 100€ totalizava um investimento total de 825 000€ que seriam pagos num período de 13 anos e meio.

2) *Potencial de outras fontes renováveis:* Devido a erros de código, não foi possível simular o potencial geotérmico do calor do esgoto, de um corpo de água, entre outros. Contudo, foi feito um pequeno estudo sobre o potencial da aplicação de um biodigestor no campus da Amadora, porque para este caso, está a ser desenvolvido no CEA um código que estará disponível no futuro. O objectivo deste estudo é avaliar a oportunidade de utilizar vários resíduos da AAMA para a formação de biogás. Esta unidade militar incorpora um refeitório que fornece diariamente alimentos e estábulos destinados a cavalos para que os estudantes possam realizar actividades equestres. Dadas estas condições, é natural que haja resíduos alimentares bem como estrume de cavalo, que se caracteriza como matéria orgânica sem qualquer valor para a instituição, mas que é bastante útil para a produção de biogás. Adjacente à AM, encontra-se a unidade Lanceiros N°2, capaz de fornecer a mesma quantidade de matéria orgânica devido aos resíduos alimentares do seu refeitório. Os dados obtidos relativamente à quantidade de matéria orgânica que pode ser aproveitada diariamente variam de 180 a 240 kg tendo em conta os dois refeitórios (AM e Lanceiros). A fim de realizar uma alimentação diária contínua dos biodigestores, uma vez que em dias de actividade reduzida os resíduos alimentares não são significativos, a solução parte do conceito de armazenamento de restos alimentares para que não haja excesso armazenado no biodigestor, mas que haja sempre a mesma quantidade de material para alimentar diariamente os biodigestores. Em média, haverá 210 kg de matéria orgânica diariamente, mas esta não pode ser a base diária de alimentação dos biodigestores. Para que aos sábados, domingos e feriados haja material a fornecer, será necessário armazenar cerca de 28% dos resíduos

diários, e assim nos dias seguintes. Para assegurar uma biodigestão contínua, foi elaborado um plano de alimentação do biodigestor, a fim de garantir que nos dias de actividade reduzida ocorra um abastecimento mínimo de biomassa. Dado que esta distribuição não será perfeita e constante, é então necessário ajustá-la de acordo com as suas necessidades. Para uma alimentação diária de 150 kg de matéria orgânica, são misturados 75 kg de fezes de cavalo. A mistura a ser colocada no biodigestor será de 75% de água e 25% de matéria orgânica. Neste caso, teríamos uma alimentação diária de 225 kg de matéria orgânica proveniente de resíduos alimentares, portanto 675 kg de água correspondendo a cerca de 675 litros de água (75%). Esta água pode ser reciclada para que não ocorram desperdícios excessivos de água. A quantidade total de matéria será de 900kg. Esta quantidade daria cerca de 101,3 m³ de biogás, considerando uma eficiência de 90%. Esta quantidade de biogás disponível não será viável para a produção de eletricidade. Por conseguinte, será mais rentável utilizar este biogás para substituir o gás natural da rede. Com uma média de 101,3 m³ de biogás por dia, chegamos a um valor anual de cerca de 36956,25 m³. Sabendo que cada metro cúbico de biogás contém o equivalente a 6 kWh de energia calorífica, obtém-se um total de 221,737MWh. Estimando uma tarifa média de 0,03 euros/kWh, concluiu-se que, utilizando um biodigestor com as características acima mencionadas, a necessidade de gás natural seria menor e haveria uma poupança de 6652,12 euros por ano e o investimento que poderia ser feito seria coberto em, aproximadamente, 5 anos e 6 meses.

3) *Discussão das medidas propostas:* Como visto, o polo da Amadora tem um grande potencial solar como também de produção de biogás. No entanto, cabe aos responsáveis decidir se o futuro da AM passa pela eletrificação ou se continua com o uso de alguns equipamentos a gás. Caso o futuro passe pela eletrificação, onde tudo opera com base à eletricidade, o melhor será o uso do sistema de painéis e coletores solares. Neste caso, temos de contar com o conjunto dos gastos elétricos de gás já existentes. Para cobrir todos os gastos, será necessário um investimento total de 1 400 000€ que seriam pagos num período de 17 anos e meio. Este investimento tornaria o AAMA numa unidade com edifícios com necessidades quase zero de energia (nZEB). Apesar do valor ser de grande importância, a AM iria obter benefícios na economia a médio prazo, independência energética e a uma melhoria da qualidade ambiental. Por outro lado, se a AM optar por continuar a usar equipamentos a gás, é prudente utilizar uma solução combinada de painéis e biodigestores que farão a alimentação de todos os sistemas presentes. Para cobrir todos os gastos elétricos, será necessário um investimento total de 825 000€ que seriam pagos num período de 13 anos e meio. Neste caso, o AAMA não seria uma unidade com edifícios com necessidades quase zero de energia (nZEB), uma vez que a quantidade de biogás produzida não seria suficiente para os consumos atuais do campus. Contudo, os custos da fatura energética iriam ser bastante reduzidos.

VI. CONCLUSÕES

Os problemas energéticos e ambientais estão intimamente relacionados, uma vez que produzir, transportar ou consumir energia tem um impacto ambiental significativo. Logo, isto acarreta custos.

De forma a procurar metodologias mais eficientes para reduzir tanto os custos energéticos como as questões ambientais, aprofundou-se o estudo através do recurso a softwares que melhoram a eficiência energética dos edifícios para que seja mais fácil e rápido fazer este tipo de avaliações.

A metodologia utiliza o City Energy Analyst que contribuiu para a modelação energética dos edifícios do AAMA, onde se introduz os dados levantados das características de cada edifício numa primeira abordagem, seguindo-se da criação de arquétipos para as diferentes tipologias de construção e consumo presentes nesta unidade militar. Após tudo isto, os dados são simulados não só com a biblioteca de arquétipos presentes no CEA, como também com os arquétipos criados para o caso de estudo em questão. A partir dos resultados da simulação energética dos consumos, averigua-se a fiabilidade e validade dos mesmos de acordo com as normas ASHRAE. No processo de validação dos dados obteve-se dois resultados distintos. O modelo dos arquétipos do CEA deu valores muito acima do estabelecido pela diretriz do ASHRAE (25%), obtendo-se valores na casa dos 60%. Esta grande disparidade pode dever-se à base de dados dos arquétipos do CEA que é baseada em dados estatísticos recolhidos para edifícios suíços, que são diferentes dos portugueses, construídos antes de 2005 e os valores para outros períodos são obtidos a partir de interpolação linear e regulamentos locais de construção. Enquanto, o modelo de arquétipos criado propositadamente para os edifícios do Exército Português em particular para a Academia Militar, alcançou resultados bastante positivos. Os valores atingiram a meta proposta, estando, para os três anos analisados, abaixo dos 25%. O erro relativamente baixo, pode explicar-se por vários pormenores como a quantidade de edifícios que foi feita a recolha de dados. Podem dever-se também ao facto do CEA considerar a planta dos edifícios através da vista aérea que algumas vezes não corresponde à correta, nem à área dos pisos do subsolo. O CEA suporta também erros numéricos. No entanto, estas justificações surgem de pequenos erros não significativos e serão corrigidos pelo programa que continua em permanente atualização.

Feita a validação da simulação, realizou-se o estudo de otimização energética. Nesta fase analisou-se todas as ferramentas de otimização e produção de energia renovável que o CEA tem à disposição. Esta dissertação apresenta todas elas, com exceção do potencial geotérmico da captação de calor de esgotos e corpos de água que não foi possível realizar por erros de código. Foi então analisado a potencialidade solar e de produzir biogás. Ambas mostraram bons resultados, pois as unidades militares têm um elevado potencial, possuindo terrenos de grandes dimensões e elevados efetivos.

Com este estudo, é possível concluir que o investimento em tecnologias de fonte renovável e em medidas para uma melhor

eficiência energética dos edifícios tem uma grande viabilidade económica. As unidades militares têm um grande consumo diário e o investimento é legítimo, uma vez que, após se tornar numa unidade com edifícios com necessidades energéticas quase zero, a redução da fatura energética é drástica.

O potencial da aplicabilidade do CEA é enorme, no entanto há que ter cuidado ao aplicá-lo a edifícios que não tem características semelhantes para os quais os arquétipos foram criados. Neste caso, deve-se alterar os parâmetros necessários para que os resultados sejam adequados.

Por fim, conclui-se que este trabalho oferece metodologias e ferramentas para uma análise energética mais rápida e apropriada, demonstrando o potencial das unidades militares em implementar medidas de otimização energética que terão benefícios a nível social, financeiro e ambiental. Desta forma contribui também para modernização das forças armadas, demonstrando ser um exemplo a seguir.

REFERENCES

- [1] C. Pasten and J. C. Santamarina, 'Energy and quality of life', *Energy Policy*, vol. 49, pp. 468–476, outubro 2012, doi: 10.1016/j.enpol.2012.06.051.
- [2] Statista, (2022). Primary energy demand change worldwide 2019 to 2021. Available in: <https://www.statista.com/statistics/1242753/change-in-global-energy-demand/>.
- [3] British Petroleum Company, "BP Statistical Review of World Energy". London: British Petroleum Co, 2021.
- [4] K. Sadamori and B. Motherway, 'Energy Efficiency 2021', *Ene Effic.*, p. 103, 2021.
- [5] European Parliament and Council of the European Union "Directive (EU) 2018/844 of the European parliament and of the council of 30 May 2018," vol. 2018, pp. 75–91, 2018.
- [6] 'World Energy Outlook 2021', p. 386.
- [7] Parlamento Europeu, "Estratégia de longo prazo para a renovação dos edifícios (ELPRE)." 2020.
- [8] Chen, Yixing; Hong, Tianzhen (2018). Impacts of building geometry modeling methods on the simulation results of urban building energy models. 717–735. doi: 10.1016/j.apenergy.2018.02.073]
- [9] J. A. Fonseca, T.-A. Nguyen, A. Schlueter, and F. Marechal, 'City Energy Analyst (CEA): Integrated framework for analysis and optimization of building energy systems in neighborhoods and city districts', *Energy Build.*, vol. 113, pp. 202–226, Feb. 2016, doi: 10.1016/