XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Distrito de Balanço Energético Nulo: evolução dos elementos conceituais[1]

Zero Energy District: conceptual elements evolution

Resumo

Neste artigo é apresentada a evolução do conceito de Distrito de Balanço Energético Nulo, termo intitulado em literatura inglesa Zero-Energy District, a partir de revisão bibliográfica em três bases de dados para artigos publicados entre 2017 e 2022. Destacam-se os fatores principais que determinam a emergência dos termos derivados deste conceito: Distrito de Balanço Energético Quase Nulo (Nearly Zero-Energy District), Distrito de Balanço Energético Nulo Líquida (Net Zero-Energy District), Distrito de Balanço Energético Positivo (Positive Energy District), Comunidade de Balanço Energético Nulo (Zero-Energy Community). Como conclusão, aponta-se a necessidade de transferir os conceitos associados aos Distritos de Balanço Energético Nulo e adaptar normas já implantadas em países desenvolvidos a realidade dos países do Sul Global.

Palavras-chave: Planejamento Urbano; Distrito de Balanço Energético Nulo; Edifício de Balanço Energético Nulo.

Abstract

This article presents a short literature review (2017-2022) on Zero Energy District (ZED) concept and its related terms - Nearly ZED, NetZED, PED and Zero Energy Community. The scope of these terms was also evaluated and compared among different authors. Conceptual elements shaping up ZED projects were systematized. A brief review on Zero Energy District Concept in tropical countries was provided. One of the purposes of the paper is the recommendation to transfer Zero Energy District concept to realities of the Global South that have a higher level of economic and social vulnerability but at the same time a higher potential for energy production from renewable sources.

Keywords: Urban Planning; Zero-Energy District; Zero-Energy Building.

INTRODUÇÃO

Distritos de Balanço Energético Nulo foram regulamentados pela primeira vez a partir de 2018 nos Estados Unidos (EUA) e União Europeia (UE) [1][2]. No entanto, em países do Sul Global, pesquisas e diretrizes publicadas com vistas a novas políticas públicas

[1] O termo Distrito de Balanço Energético Nulo foi livremente adaptado do inglês – *Zero-Energy District* neste trabalho por analogia ao termo disseminado na literatura acadêmica em língua portuguesa Edifício de Balanço Energético Nulo.

Como citar:
BOBYLEVA, N. Distrito de Balanço Energético Nulo: evolução dos elementos conceituais. ENTAC2022. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

ainda estão pouco desenvolvidas e limitam-se ao conceito de Edifício de Balanço Energético Nulo. Mesmo que a contribuição dos edifícios em consumo de energia seja significativa, cerca de 40% [3], há a necessidade de intensificação da eficiência energética na escala urbana, especialmente em regiões que apresentam condições de vulnerabilidade social.

Existem maiores oportunidades para eficiência energética no nível distrital do que em edifícios individuais pois, no primeiro caso, pode ocorrer a oportunidade de troca de energia entre edifícios [4]. O bairro é uma escala adequada para ir além dos limites de edifício único sem perder seu controle e, ao mesmo tempo, capaz de abordar soluções tangíveis [5]. Além disso, a escala de bairro serve exatamente para a realização dos passos concretos em direção à sustentabilidade energética e descarbonização dentro das áreas construídas ou que se expandem.

Como primeiro passo, para engatilhar a discussão sobre Balanço Energético Nulo no nível Distrital em países do Sul Global, propôs-se a revisão bibliográfica com enfoque na sistematização das definições do termo "Balanço Energético Nulo", originado nos países desenvolvidos, e a classificação dos principais elementos que o compõem. A definição unificada e clara dos termos é um dos problemas mais consistentes na área das pesquisas do conceito de Balanço Energético Nulo [5] enquanto o conteúdo dos seus termos associados servem como ponto inicial para desenvolvimento das políticas públicas na área de eficiência energética [6]. Como resultado da presente revisão bibliográfica, ainda inicial, pretende-se uma sistematização das principais tendências associadas ao assunto.

A metodologia adotada para este trabalho consistiu em pesquisa bibliográfica nas seguintes bases de dados: Periódicos Capes, *Web of Science* e Plataforma SCOPUS para artigos publicados a partir de 2017 até 2022. Além disso, são descritas as etapas e filtros utilizados no sentido da definição da seleção final dos artigos que foram efetivamente sistematizados.

Na seção correspondente a análise e discussão apresentam-se os resultados da revisão de literatura dos termos associados à evolução temporal do conceito de Distrito de Balanço Energético Nulo (*Zero-Energy District)* e sua possível aplicação em países do Sul Global.

METODOLOGIA

A busca de literatura especializada em Distritos de Balanço Energético Nulo (*Zero-Energy Districts*) passou por várias iterações. Em primeira triagem nas três diferentes bases de dados procurou-se o termo em inglês *Zero-Energy District* em títulos, resumos e/ou em palavras-chave de artigos publicados em revistas especializadas publicadas entre 2017 e 2022. Entre os Periódicos Capes foram encontrados 27 artigos, na *Web of Science* - 167 e na Plataforma SCOPUS - 219. As áreas de conhecimento (campo *subject areas nas plataformas*) se limitaram a energia, engenharia, arquitetura, planejamento urbano, estudos interdisciplinares, meio ambiente, ciências sociais, materiais de construção e economia.

Em seguida, foi adotado um segundo critério de filtragem concentrado nos títulos associados às definições do termo *Zero Energy District* e elementos principais, ou seja, subtópicos do *Zero Energy District*. Assim, para a constituição de um grupo mais reduzido que permitisse o aprofundamento detalhado de conteúdos associados aos objetivos iniciais propostos neste trabalho foram adotados os seguintes critérios de inserção:

i) revisões sistemáticas associadas a Distritos de Balanço Energético Nulo (*Zero-Energy District*);

ii) artigos com títulos que apresentassem as seguintes variações: *Net Zero-Energy District - NetZED, Zero-Energy, Nearly Zero-Energy District-NZED, Positive-Energy District-PED* e *Zero-Energy Community*.

iii) artigos que apresentam os subtópicos específicos de ZED tais como: planejamento energético e estratégias ativas; estratégias passivas; impacto socioeconômico e envolvimento da comunidade e outros.

Daí resultaram 84 da Plataforma SCOPUS, 53 no *Web of Science* e 3 nos Periódicos Capes. Além destes, foram escolhidos 4 artigos tratando de revisões sistemáticas todos retirados da Plataforma SCOPUS. Logo após para cada subtópico foram escolhidos de um até três artigos com o maior número de citações por grupo a partir de 2 referências. No final foi consolidado um conjunto de 19 artigos apresentados no Quadro 1, a seguir.

Quadro 1: Literatura Selecionada em Distritos de Balanço Energético Nulo

Subtópicos	Autores	Palavras-chave	Descrição
Estratégias ativas e Planejamento Energético	Akhatova et al. [18]; Amaral et al. [21]; Kılkış [20], Uspenskaia et al. [26], Heendeniya et al. [19]	*agent-based modelling; agent-based simulation; urban energy system; district energy system; systematic literature review*	Aspectos de desempenho, ferramentas de avaliação; Sistemas de energia: *multi energy masterplanning*, aspectos técnicos de modelagem, simulação e operação
Gestão dos sistemas energéticos	Heendeniya et al. [19]; Mohammad [22]	*Multi-Energy systems; Expansion; Operation; Modeling; Zero-Energy districts; Renewable energy*	Desempenho
Estratégias passivas	de Leon [16], Feng et al. [6]	*nZEB, nZED*	Bioclimatismo, estratégias passivas
Morfologia urbana	Beyaztaş [15]; Kolodiy [17]	*Urban texture; Building typology; Near-Zero energy Building; Energy simulation; compensating measures; different climates; optimized buildings; urban density; zero-energy building*	Estratégias passivas de projeto de balanço energético nulo, forma, orientação, densidade urbana

Microclima	Beyaztaş [15], de Leon [16], Chacon [29]; Nemacthoua [30]	*Urban heat island; Building integrated photovoltaics; Nearly zero energy buildings; Nearly zero energy district; PV efficiency; Reflected solar radiation; Microclimate mitigation; Dynamic thermal-energy simulation; Near zero energy settlement; Energy efficiency; Urban heat island; Inter-building effect; Cool materials; Outdoor comfort*	Bioclimatismo, clima urbano e microclima
Revisão sistemática	Brozovsky et al. [10]; Komninos [13]; Koutra [5]; Amaral et al. [21];	*Zero emission; Zero energy; Positive energy; Neighbourhoods Districts; Blocks; Systematic review; Zero Energy Building*	Conceituação, terminologia, tópicos
Impacto socioeconômico	Becchio et al. [27]; Hirvonen e Kosonen [23]; Kim et al. [28]; Laitinen et al. [24]; Saarloos et al. [4]	*net-zero energy district; positive energy district; Net Zero-Energy District; Co-benefit; Energy refurbishment; Cost-benefit analysis; Socio-economic impact*	Análise custo benefício; impacto socioeconômico Avaliação de viabilidade de implementação
Envolvimento de comunidade (coincide com avaliação socioeconômica)	Becchio et al. [27]; Hirvonen e Kosonen [23], Kim et al. [28]; Laitinen et al. [24]; Saarloos et al. [4]	*net-zero energy district; positive energy district; Net Zero-Energy District; Co-benefit; Energy refurbishment*	Comunidade de balanço energético nulo, fases de projeto do balanço energético nulo

ANÁLISE E DISCUSSÃO

A partir do final da década de 1990, a documentação aprovada pela Agência Internacional de Energia *(International Energy Agency - IEA)* [1], assim como, as diretivas e programas da União Europeia (EU) [2] [7] [8] [9], publicados entre 2002 e 2018 impactaram significativamente o desenvolvimento do conceito de Balanço Energético Nulo.

As recomendações da UE evoluíram da diminuição de consumo de energia em edifícios até prescrições dirigidas às novas construções na Europa que devem ser planejadas a partir do conceito de Balanço Energético Quase Nulo (*Nearly Zero-Energy-NZE)* a partir de 2030. Assim como, a aplicação do conceito de Balanço Energético Quase Nulo (*Nearly Zero-Energy)* tornou-se obrigatória para os edifícios e facultativa aos distritos em países europeus, desde 2020 [2], por causa da necessidade de aproveitar perfis de carga mais diversos, capacidades de produção e armazenamento e a possibilidade de compartilhar custos e recursos. A ideia de energia zero se transformou do nível de edifício para o nível distrital foi [10].

Ainda em 2018, a União Europeia lançou o programa "Distritos e Bairros de Energia Positiva para Desenvolvimento Urbano" no âmbito da Ação 3.2 do Plano Estratégico de Tecnologia Energética (SET) "Cidades Inteligentes e Comunidades" [9]. Esta ação deu impulso para o desenvolvimento do conceito de Distrito de Balanço Energético Positivo, passo evolutivo para o de Balanço Energético Nulo.

Segundo [11], Distrito de Balanço Energético Nulo é definido como uma área circunscrita onde o consumo anual de energia dos edifícios aí localizados e o transporte está em equilíbrio com a produção local de energia renovável.

A necessidade de mensuração anual de consumo de energia é estabelecida nas próprias definições de Distrito de Balanço Energético Nulo. Porém, muitos pesquisadores notam que para atingir maior eficiência energética ainda é necessário fazer avaliações mensais ou mesmo horárias com vistas a seu planejamento de forma adequada [11]. O objetivo principal destas mensurações é a criação de alternativas no sentido de prevenir conflitos entre demanda e fornecimento de energia renovável para usuários finais.

Uma outra possibilidade é trabalhar com a ideia de Distrito de Balanço Energético Nulo Líquido[2] cujo significado está associado à promoção da compensação de consumo de energia fornecida pelas redes elétricas a partir da adoção de fontes renováveis, originárias de fazendas de energia e de plantas locais, situadas em proximidade imediata dos edifícios [10].

Já no caso do Distrito de Balanço Energético Positivo (*Positive-Energy District)*, o pressuposto é que a produção de energia supera a quantidade prevista a ser consumida [12]. O excesso de energia emerge com a instalação de [sistemas de] energia renováveis e inteligentes em várias infraestruturas e atividades da cidade como iluminação, mobilidade urbana e mensuração, monitoramento permanente de coleta dos resíduos, ativação à transição completa para energia limpa e emissões carbônicas zero [13]. Ainda, o Distrito de Balanço Energético Positivo *(Positive-Energy District)* incorpora aspectos relacionados aos cuidados com o meio ambiente: uso de energia limpa e descarbonização, uso sustentável de água, gestão dos resíduos sólidos e outras soluções que fazem parte, em amplo sentido, do cumprimento de uma agenda de sustentabilidade [12].

A inclusão de opção de troca de energia entre edifícios devido aos sistemas inteligentes consiste na questão central relacionada ao planejamento de Distritos de Balanço Energético Nulo (*Zero-Energy District)* [11][13].

Outro componente importante que faz parte do Conceito de Balanço Energético Nulo *(Zero-Energy Concept)* é a contribuição dos usuários à redução de consumo de energia o que explica a emergência do termo - Comunidade de Balanço Energético Nulo (*Zero-Energy Community),* ou seja, aquela que reduz as necessidades de energia através de ganhos de eficiência, tais como, o equilíbrio de energia para veículos, térmica e elétrica [14].

[2] Tradução do inglês *Net Zero-Energy District*.

A variedade das definições significa que existe desenvolvimento conceitual da ideia de *zero-energy* de escala de edifício até escala urbana (Quadro 2) o que ainda por sua vez estimulou a produção prolifica acadêmica nesta área.

Quadro 2: Definições de Balanço Energético Nulo em Várias Escalas

Sigla Originais em Inglês	Descrição
Zero-Energy Building - ZEB	Um edifício em que o consumo anual de energia é equilibrado pela produção local de energia renovável [2].
Positive-Energy Building- PEB	Um edifício em que o consumo anual de energia e menor do que a produção local de energia renovável [9].
Net Zero-Energy Building	Edifício no qual se sublinha um equilíbrio entre a energia retirada e fornecida de volta à rede ao longo de um período específico (nominalmente um ano) [22].
Zero-Energy District - ZED	Um distrito em que o consumo anual de energia para edifícios e transporte de habitantes são equilibrados pela produção local de energia renovável [11].
Net Zero-Energy District	Um edifício em que o consumo anual de energia é equilibrado pela produção local de energia renovável [22].
Nearly ZED	Um edifício em que o consumo anual de energia é menor do que a produção local de energia renovável [11].
Positive-Energy District- PED	Distrito em que o consumo anual de energia e menor do que a produção local de energia renovável [12].
Zero-Energy Community	Um distrito em que o consumo anual de energia para edifícios e transporte de habitantes são equilibrados pela produção local de energia renovável [14].

Os edifícios desempenham um papel crucial no cumprimento dos requisitos da União Europeia [2] e assim se explica o impacto dos termos de escala dos prédios à escala dos distritos. Porém, a adaptação de termo Distrito de Balanço Energético Nulo *(Zero-Energy District)* às particularidades urbanas é necessária pois vai depender das especificidades do clima local, desenvolvimento de tecnologia, situação econômica e outros condicionantes [5]. A emergência das modificações do termo Quase Nulo *(Nearly Zero*), Líquido Nulo *(Net Zero-Energy)* e Balanço Positivo *(Positive Energy)* também se explica pelos condicionantes atuais de cada país, especificamente pelas condições técnico-econômicas; matrizes elétricas nacionais estabelecidas; tipologia e idade do meio construído e infraestrutura, acessos aos investimentos e outras razões.

Todas as definições citadas até aqui servem como base conceitual para documentos de regulação, política pública de eficiência energética e projetos de Distritos de Balanço Energético Nulo *(Zero-Energy Districts).* Quanto mais precisa, rigorosa e contextualizada seja a definição, mais clara e desenvolvida será a política pública dirigida aos distritos com metas de eficiência energética. Ainda, a definição do conceito de Balanço Energético Nulo *(Zero-Energy Concept)* nas várias escalas é um consenso entre agentes envolvidos no desenvolvimento de distritos de eficiência energética nula.

Como estratégias passivas dirigidas à constituição de Distritos de Balanço Energético Nulo *(Zero-Energy Districts)*, são observados também aspectos pré-tecnológicos que impactam precocemente na produção e no consumo de energia dos edifícios como clima e morfologia urbana. O clima é estudado a partir de variáveis de temperatura, desenho de vento e ganhos solares [15][16][17]. A morfologia urbana com sua

geometria, orientação, altura dos edifícios, densidade urbana, idade dos edifícios é um segundo fator importante no desempenho de Distritos de Balanço Energético Nulo *(Zero-Energy Districts)*[15]. Podem, ainda, ser citados aspectos intercruzados, relativos à temática das estratégias passivas ou bioclimáticas [16] como efeitos de ilhas de calor, canhão urbano (*urban canyon*), efeito de Inter-construção (*interbuilding effect*) [6] ou sombreamento mútuo, materiais de envoltória e de fachada e *layout* otimizado para consumo de energia. Aspecto importante foi definido no trabalho de [17], tudo no final contornando ao termo "direitos à energia solar na cidade". Por último, vários estudos são dedicados ao *retrofit* energético, [15] como exemplo, ou seja, otimização das características térmicas de envoltória dos edifícios.

Entre as estratégias ativas destacam-se os estudos do impacto técnico-econômico, modelagens dos sistemas de produção e distribuição de energia renovável, gestão e armazenamento de energia dos recursos renováveis. Em relação aos aspectos técnicos de engenharia dos Distritos de Balanço Energético Nulo *(Zero-Energy Districts)* analisam-se sistemas que envolvem diferentes fontes de energia [18] [19]; questões de otimização de gestão dos sistemas de energia na base de simulação e modelagem [20] [21] [22]; composição dos sistemas híbridos em energias renováveis [23][24]; questões de uso e ocupação de solo, ligados à instalação de equipamentos e armazenamento de energia nos Edifícios de Balanço Energético Nulo *(Zero-Energy Buildings)* [22] [25]. Também são estudados modelos multifatoriais; modelos baseados nos agentes e outros que visam avaliar viabilidade de implementação de Distritos de Balanço Energético Nulo [26][27][28]. Entre os instrumentos de avaliação de impacto econômico mais comuns pode-se citar: Avaliação do Ciclo da Vida (*Life Cycle Assessment);* Custo do Ciclo da Vida (*Life Cycle Cost*); Auxílio à Decisão Multicritério (*Multi-Criteria Decision Aid)*, e Análise de Custo-Benefício *(Cost-Benefit Analysis)* [27]. Os problemas estratégicos se destacam na escolha das tecnologias apropriadas para cada tipo de uso final de energia. Outro problema atual é a transferência das técnicas universais de implementação do Distritos de Balanço Energético Nulo em regiões diferentes do mundo e da cidade [26].

As estratégias ativas são apresentadas também pelos estudos de *smart grid* ou redes inteligentes. Analisa-se a viabilidade de implementação de Distritos de Balanço Energético Positivo (*Positive-Energy District-PED*) [10][13] que se baseia na redistribuição de energia entre edifícios, infraestrutura e transporte.

Os impactos socioeconômicos são estudados pelos estudos de desenhos de comportamento do usuário nos trabalhos de [27] [28].

A inclusão de transporte elétrico como consumidor principal de energia junto com edifícios é bem disseminada entre vários pesquisadores contemporâneos [5][11]. Assim, os três elementos principais compõem o Distrito de Balanço Energético Nulo: edifícios, sistemas de energia renovável e transporte. Porém, nota-se que o distrito é [uma unidade] mais complexa do que o edifício e ele consome energia não só para fins residenciais e comerciais, mas também para espaços públicos, mobilidade e grande variação de infraestrutura urbana [13]. A síntese dos elementos de Distritos de Balanço Energético Nulo na escala urbana é apresentada no Quadro 3, a seguir.

Quadro 3: Os Elementos Estruturais de Distrito de Balanço Energético Nulo *(Zero-Energy District*)

Elementos de planejamento urbano	**Aspectos ligados com consumo energético**
Uso e ocupação de solo (indústrias, comercio, residencial)	Usos finais; produção e distribuição.
Infraestrutura comercial, residencial e social: edifícios	Usos finais; regime do conforto térmico interno; aquecimento, ventilação e resfriamento; materiais de envoltória.
Equipamento (espaço para equipamentos públicos)	Armazenamento de energia.
Elementos geográficos: - Água	Manutenção, usos de aparelhos de irrigação; descarbonização e aumento de uso de energia elétrica.
- Vegetação	Sombreamento, mitigação das temperaturas altas, manutenção (corte de grama), usos de aparelhos (irrigação), iluminação; descarbonização e aumento de uso de energia elétrica.
Superfícies	Ilhas de calor que impactam regime de conforto térmico interno nos edifícios, aumento de uso de energia elétrica.
Espaços públicos	Manutenção (transporte de limpeza), descarbonização e aumento de uso de energia elétrica.
Mobiliário urbanos	Manutenção (limpeza), conforto térmico externo (sombreamento, refrescamento e aquecimento, proteção do vento); descarbonização e aumento de uso de energia elétrica.

Mesmo com o desenvolvimento de documentação avançada direcionada a política pública dos últimos anos em países avançados, ainda existem desafios para implementação de Distritos de Balanço Energético Nulo. Eles são, segundo [5][15][27]: cálculos precisos e abrangência de todos os elementos que contribuem a consumo de energia dentro de bairros/distritos; viabilidade econômica; cooperação entre agentes envolvidos, participação dos usuários, eficácia dos sistemas híbridos de produção de energia renovável e outros.

Há necessidade de intensificação da pesquisa de documentos regulatórios que se adequem a cada tipo de clima e condições socioeconômicas e culturais, especialmente em lugares de pobreza energética. Por exemplo, independência de resfriamento mecânico (ar-condicionado) significaria diminuição de consumo de energia até 40% [16]. Desenvolvimento das estratégias passivas na escala de bairro/distrito poderiam servir para otimização de consumo de energia e ao mesmo tempo otimização de investimentos iniciais no projeto de Distrito de Balanço Energético Nulo.

Além disso, as metodologias de projeto de Balanço Energético Nulo devem começar a se adequar aos climas tropicais. No momento atual, nas bases internacionais se encontram menos do que 5 publicações dedicados ao tópico de Distrito de Balanço

Energético Nulo nos climas tropicais. Por exemplo, em pesquisas de [16] [29] [30] outros.

CONCLUSÕES

Dois aspectos principais determinam a ideia de Distrito de Balanço Energético Nulo, a otimização do consumo de energia e a produção de energia por fontes renováveis. No entanto, deve-se destacar que o Balanço Energético Nulo pode ser realizado na escala de edifício, bairro, distrito, cidade e como meta final no país.

A transição energética da escala do edifício a distrital ainda consiste em um grande desafio, inclusive para especialistas dos vários campos de conhecimento como planejadores urbanos, arquitetos, engenheiros e outros. O tópico de Distritos de Balanço Energético Nulo ainda é muito novo e passa por um período de conscientização e consolidação.

Na prática é muito difícil abranger todos os aspectos possíveis que impactam o desempenho de Distritos de Balanço Energético Nulo, mas é importante continuar a analisar as relações complexas entre vários elementos urbanos que impactam unidades urbanas maiores do que os edifícios.

A necessidade de intensificação da pesquisa em eficiência energética na escala urbana em países com condições de pobreza energética e vulnerabilidade social é evidente. Para que o desenvolvimento dos projetos de Distrito de Balanço Energético Nulo no Sul Global seja acentuado é necessário que estratégias de implementação sejam bem definidas e, principalmente, que ganhem aceitação por parte dos agentes públicos.

REFERÊNCIAS

[1] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. (2015). **EBC Annual Report 2015 - Energy in Buildings and Communities Programme.** Hertfordshire. Disponivel em: https://www.iea-ebc.org/Data/publications/EBC_Annual_Report_2015.pdf. Acesso em: maio 2022.

[2] EUROPEAN COMMISSION. "**Directive 2010/31/EU of the Europan Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)",** Off. J. Eur. Union, L 153/13, (2010).

[3] GROßE, J.; FERTNER, C.; GROTH, N. **Urban Structure, Energy and Planning: Findings from Three Cities in Sweden,Finland and Estonia**. Urban Plan. 2016, 1, 24–40. [CrossRef]

[4] SAARLOOS, B.A.; QUINN, J.C. **Net-Zero Energy Districts and the Grid: An Energy-Economic Feasibility Case-Study of the National Western Center in Denver, CO, USA**. Buildings 2021, 11, 638. https://doi.org/10.3390/buildings11120638.

[5] KOUTRA S., DENAYER N., GALATOULAS N.-F., BECUE V., IOAKIMIDIS C.S (2021). **The zero-energy challenge in districts. Introduction of a methodological decision-making approach in the case of the district of Cuesmes in Belgium**, International Journal of Urban Sustainable Development, 13:3, 585-613, DOI: 10.1080/19463138.2021.1985504

[6] FENG, W., ZHANG, Q., JI, H., WANG, R., ZHOU, N., YE, Q., … LAU, S. S. Y. (2019). **A review of net zero energy buildings in hot and humid climates: Experience learned from 34**

case study buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 114, 109303. DOI:10.1016/j.rser.2019.109303.

[7] EUROPEAN COMMISSION, "**Directive 2002/91/EC, Energy Performance of Buildings Directive**", Official Journal of the European Union. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:001:0065:0071:EN:PDF. Acesso em: maio 2022.

[8] EUROPEAN COMMISSION. **The Energy Efficiency Directive 2012/27/EU.** Official Journal of the European Union. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0027. Acesso em: maio 2022.

[9] EUROPEAN COMMISSION, **"Directive EU2018/844, Energy Performance of Buildings Directive**", Official Journal of the European Union. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2018.156.01.0075.01.ENG. Acesso em: maio 2022.

[10] BROZOVSKY, J., GUSTAVSEN, A., & GAITANI, N. (2021). **Zero emission neighbourhoods and positive energy districts – A state-of-the-art review**. Sustainable Cities and Society, 72, 103013. doi:10.1016/j.scs.2021.103013.

[11] MARIQUE, A.-F., PENDERS, M., & REITER, S. (2013). **From Zero Energy Building to Zero Energy Neighbourhood.** Urban form and mobility matter. In PLEA 2013 - 29th conference, sustainable architecture for a renewable future (pp. 1–6). Munich, Germany.

[12] JPI URBAN EUROPE (2020). **White Paper on Reference Framework for Positive Energy Districts and Neighbourhoods. Key lessons from national consultations**. Disponível em: https://jpi-urbaneurope.eu/ped/ Acesso em: maio 2022.

[13] KOMNINOS N. **Net Zero Energy Districts: Connected Intelligence for Carbon-Neutral Cities.** Land. 2022; 11(2):210. https://doi.org/10.3390/land11020210.

[14] CARLISLE, N., GEET, O. VAN, & PLESS, S. (2009). **Definition of a "Zero Net Energy" Community.** National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-7A, 1–14. Accesso em: http://www.nrel.gov/docs/fy10osti/46065.pdf.

[15] BEYAZTAŞ H., KOÇLAR ORAL G. **Optimizing Urban Texture and Building Typology for the Goal of Achieving Near-Zero Mid-Rise Residential Building.** Gazi University Journal of Science. 2020; 33(3): 592-611. doi: 10.35378/gujs.654664.

[16] DE LEÓN, L.; AUSTIN C.; CARPINO M; MORA C. (2021). **Towards Zero Energy Districts developments base on bioclimatic strategies: A Numerical Study in a Developing Country.** E3S Web of Conferences. DOI: 312. 02017. 10.1051/e3sconf/202131202017.

[17] KOLODIY O., CAPELUTO G. (2021). **Towards zero-energy residential complexes in high-density conditions.** Indoor and Built Environment, 2021, Vol. 30(10) 1751–1765.

[18] AKHATOVA, A.; KRANZL, L.; SCHIPFER, F.; HEENDENIYA, C.B. **Agent-Based Modelling of Urban District Energy System Decarbonisation—A Systematic Literature Review.** Energies 2022, 15, 554. https://doi.org/10.3390/en15020554.

[19] HEENDENIYA, C.; ANDREAS S.; EICKER, U. (2020). **The multi-energy system co-planning of nearly zero-energy districts – Status-quo and future research potential.** Applied Energy. 267. 10.1016/j.apenergy.2020.114953.

[20] KILKIŞ, Ş. **A Nearly Net-Zero Exergy District as a Model for Smarter Energy Systems in the Context of Urban Metabolism**, J. sustain. dev. energy water environ. syst., 5(1), pp 101-126, 2017, DOI: http://dx.doi.org/10.13044/j.sdewes.d5.0136.

[21] AMARAL, A. R.; RODRIGUES, E.; RODRIGUES GASPAR, A., GOMES, Á. (2018). **Review on performance aspects of Nearly Zero-Energy Districts.** Sustainable Cities and Society. doi:10.1016/j.scs.2018.08.039.

[22] MOHAMMAD S., HAGHIGHAT F. (2018). **Integration of Distributed Energy Storage into Net-Zero Energy District Systems: Optimum Design and Operation**. Energy. 153. DOI: 10.1016/j.energy.2018.04.064.

[23] HIRVONEN, J.; KOSONEN, R. (2020) **Waste incineration heat and seasonal thermal energy storage for promoting economically optimal net-zero energy districts in Finland.** Buildings, 10 (11), art. no. 205, pp. 1-19. doi: 10.3390/buildings10110205.

[24] LAITINEN A., LINDHOLM O., HASAN A., REDA F., HEDMAN Å. (2021) **A techno-economic analysis of an optimal self-sufficient district.** Energy Conversion and Management 236 114041. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114041.

[25] DIETRICH U. **Zero-energy buildings in cities with different climates and urban densities: energy demand, renewable energy harvest on-site and off-site and total land use for different renewable technologies.** Int. J. of Energy Prod. & Mgmt., Vol. 6, No. 4 (2021) 335–346. doi: 10.2495/EQ-V6-N4-335-346.

[26] USPENSKAIA, D.; SPECHT, K.; KONDZIELLA, H.; BRUCKNER, T. **Challenges and Barriers for Net-Zero/Positive Energy Buildings and Districts—Empirical Evidence from the Smart City** Project SPARCS. Buildings 2021, 11, 78. https://doi. org/10.3390/buildings11020078.

[27] BECCHIO, C., BOTTERO, M. C., CORGNATI, S. P., DELL'ANNA, F. (2018). **Decision making for sustainable urban energy planning: An integrated evaluation framework of alternative solutions for a NZED (Net Zero-Energy District) in Turin.** Land Use Policy, 78, 803–817. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.06.048.

[28] KIM, M.-H., KIM, D., HEO, J., LEE, D.-W. (2019). **Techno-economic analysis of hybrid renewable energy system with solar district heating for net zero energy community**. Energy, 187, art. no. 115916. doi: 10.1016/j.energy.2019.115916.

[29] CHACÓN A., AUSTIN M.C., CASTAÑO C. **Multiobjective Optimization Approach for Retrofitting Decision-Making towards Achieving Net-Zero Energy Districts: A Numerical Case Study in a Tropical Climate.** *Smart Cities* 2022, 5, 405–432. https://doi.org/10.3390/smartcities5020023.

[30] NEMATCHOUA K. (2020). **From existing neighbourghoods to net-zero energy and nearly zero carbon neighourhoods in the tropical regions.** *Sol Energy.* 211:244–257. doi:10.1016/j.solener.2020.09.062.