ESTUDO DE POTENCIAL DE ESTRATÉGIAS PASSIVAS PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM *CAMPUS* UNIVERSITÁRIO

Marco Túlio Bones Soares (1); Cláudia Naves David Amorim (2)
(1) Arquiteto e Urbanista, Mestrando em Arquitetura e Urbanismo na Universidade de Brasilia, tulio.boones@gmail.com, Universidade de Brasília
(2) Doutora, Prof.ª do Departamento de Tecnologia em Arquitetura e Urbanismo, clamorim@unb.br, Universidade de Brasília, Laboratório de Controle Ambiental e Eficiência Energética, *Campus* Darcy Ribeiro - ICC Bloco A, Ala Norte | CEP: 70904 - 970 - Brasília/DF, tel: (61) 3107-7454

RESUMO
Os edifícios estão entre os maiores consumidores de energia e emissões de CO2 no mundo. Neste cenário, ressalta-se o alto consumo de energia por parte dos *campi* universitários, dada sua diversidade de usos, número de usuários e tamanho. Frente a isso, é extremamente importante melhorar sua eficiência energética. Nesse contexto, o presente trabalho buscou identificar e classificar tipologias de edifícios do campus Darcy Ribeiro, da Universidade de Brasília – UnB, com maiores possibilidades de otimização energética a partir da adoção de estratégias passivas. O trabalho insere-se no projeto de pesquisa "Cenários e propostas para eficiência energética em edifícios e *campus* de balanço energético nulo", que visa o aprofundamento dos princípios de balanço energético nulo e uma possível extrapolação dos resultados para a escala do *campus* (distrito). Como metodologia, os edifícios foram identificados a partir de dados georreferenciados, categorizados conforme o tipo de uso principal e analisados pelo Diagrama Morfológico. Com isso, foi possível identificar as tipologias com maior possibilidade de uso de estratégias passivas para conforto ambiental e eficiência energética, para posterior seleção dos edifícios que servirão de objeto de estudo para o projeto de pesquisa, com o objetivo de estender os princípios de balanço energético nulo e aplicá-los na conversão dos edifícios existentes no campus Darcy Ribeiro em um distrito de balanço energético nulo.

Palavras-chave: eficiência energética, estratégias passivas, balanço energético nulo, diagrama morfológico.

ABSTRACT
Buildings are among the largest consumers of energy and CO2 emissions in the world. In this scenario, the high energy consumption of university campuses is particularly noteworthy due to their diverse uses, large number of users, and size. Therefore, it is extremely important to improve their energy efficiency. In this context, the present study aimed to identify and classify building typologies on the Darcy Ribeiro campus of the University of Brasília - UnB, with greater potential for energy optimization through the adoption of passive strategies. This work is part of the research project "Scenarios and proposals for energy efficiency in buildings and net zero energy campus", which aims to deepen the principles of net zero energy buildings and potentially extrapolate the results to the scale of the campus (district). As a methodology, buildings were identified using georeferenced data, categorized according to their primary use, and analyzed using the Morphological Diagram. This enabled the identification of typologies with the greatest potential for passive strategies implementation in terms of environmental comfort and energy efficiency. Subsequently, the selected buildings will serve as the object of study for the research project, with the objective of extending the principles of net zero energy building and applying them to convert the existing buildings on the Darcy Ribeiro campus into a net zero energy district.

Keywords: energy efficiency, passive strategies, net zero energy, morphological diagram.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia pelos edifícios é um fator significativo no impacto das emissões de gases de efeito estufa e no aquecimento global. Segundo Quevedo *et al*. (2023), esse setor é responsável por cerca de um terço do consumo global de energia, tornando-se o maior consumidor em comparação com outros setores. Na Europa, aproximadamente 75% da energia produzida é consumida pelos edifícios. Projeções da Agência Internacional de Energia (IEA, 2022) indicam que a demanda energética nesse setor mais do que dobrará até 2050. Essa tendência ressalta a necessidade urgente de se adotar medidas para alcançar níveis de eficiência energética e reduzir o consumo excessivo de energia nesses edifícios (PAZOUKI, 2022). No Brasil, os edifícios já representam cerca de 50% do consumo total de energia no país, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2022). Esses dados enfatizam a importância de abordar a eficiência energética nos edifícios a fim de diminuir a demanda energética e as emissões de gases de efeito estufa. Ações nesse sentido são cruciais para alcançar uma sustentabilidade ambiental e mitigar os impactos negativos causados pelo consumo excessivo de energia.

Dentro desse contexto, destaca-se o estudo realizado por Litardo *et al*. (2021), que enfatiza o alto consumo de energia nos *campi* universitários, um segmento específico no setor. Os *campi* universitários, caracterizados por sua infraestrutura complexa e diversidade de edifícios, enfrentam desafios particulares para alcançar níveis de eficiência energética devido às diferenças de usos, idade das construções, entre outros fatores vinculados à morfologia dos edifícios e às condições climáticas que influenciam diretamente no consumo energético (LITARDO *et al*., 2021). Embora seja uma tarefa desafiadora, as instituições de ensino superior estão se empenhando em investir na melhoria da eficiência energética de seus *campi*. A implementação de programas de sustentabilidade tem se mostrado uma abordagem adotada por várias universidades. Esses programas englobam medidas como a instalação de sistemas de iluminação eficientes, o uso de fontes de energia renovável, aprimoramento do isolamento térmico dos edifícios e conscientização dos estudantes e funcionários sobre a importância da economia de energia (BAYOUMI, 2020).

Quando se avalia a eficiência energética de uma edificação, devem ser consideradas questões relacionadas ao conforto ambiental (térmico, luminoso, acústico e de qualidade do ar), visto que o baixo desempenho de um edifício afeta diretamente o conforto dos usuários, resultando na utilização excessiva de sistemas de climatização e iluminação artificial e, consequentemente, um aumento no consumo energético (MACIEL *et al.*, 2021 *apud* SOARES, 2021). Conforto ambiental e eficiência energética tornam-se, portanto, premissas de um modelo de edificação inserida no contexto da sustentabilidade, capaz de racionalizar o consumo de energia e evitar o desperdício sem comprometer a saúde, segurança, conforto e produtividade do usuário. Ademais, a morfologia da edificação, sua implantação, tratamento de envoltória e zoneamento interno exercem forte influência na possibilidade de aproveitamento dos recursos passivos, como ventilação e iluminação, pois influenciam o grau de permeabilidade e possibilidade de controle. Características intrínsecas aos edifícios, como forma e implantação são de difícil modificação em um contexto pré-existente, cabendo, portanto, no caso de propostas de *retrofit* ou reabilitação, a avaliação da viabilidade de proposição destas estratégias (AMORIM, 2011).

Alguns estudos, por exemplo, estão focados no aumento da eficiência da iluminação artificial e sua integração com a iluminação natural através do desenvolvimento de sistemas de controle aprimorados. Esses sistemas levam em consideração os níveis adequados de iluminação de acordo com o tipo de atividade da área controlada e o conforto visual. No entanto, é importante utilizar a iluminação natural de forma técnica, pois podem surgir problemas relacionados ao calor e ao ofuscamento solar (LITARDO *et al*., 2021). Os resultados apontam reduções consideráveis no consumo de energia com a implementação de sistemas inteligentes de controle de iluminação. Um estudo realizado por Doulos *et al*. (2020) analisou uma sala de aula típica na Grécia, revelando que o consumo anual de energia primária para iluminação, que era de 90,5 kWh/m2, pode ser reduzido para 0,55 kWh/m2 por meio de sistemas de controles e integração com a iluminação natural. Além disso, estudos anteriores têm demonstrado o potencial da utilização de janelas de alto desempenho e dispositivos de sombreamento nos edifícios para reduzir seu consumo de energia. De acordo com o estudo realizado por Kunwar *et al*. (2020), que analisou o uso de dispositivos de sombreamento, dois tipos de vidro e controles de iluminação em uma sala de teste, foi observada uma economia de energia de 25,4% no resfriamento e 48,5% na iluminação a partir da implementação de dispositivos de sombreamento.

Entretanto, muitas pesquisas já realizadas sobre eficiência energética, focaram apenas em edifícios individuais, como por exemplo o IEA EBC *Annex* 56 sobre renovação de edifícios, cujos trabalhos possuem perspectiva de renovação individual. Tal questão pode levar a uma subotimização do sistema de renovação, não sendo aproveitado pela comunidade ou sociedade como um todo (ROSE *et al*., 2021). Nesta perspectiva, trabalhar com um grupo de edifícios permite aproveitar as diversas interações entre elas e acelerar o processo de redução do consumo energético do setor (TEREZ-ZUBIACA, *et al*., 2020).

Batlle *et al*. (2020) buscaram identificar oportunidades de melhorias na eficiência energética de edifícios e especificar estratégias de gestão de energia relacionadas ao uso de eletricidade a partir das recomendações da ISO 50001:2011 e ISO 50006:2014. Diversas variáveis que influenciam o consumo de energia nos edifícios do *campus*, tanto controláveis (horário de funcionamento, materiais de construção, número de pessoas, equipamentos e orientação do edifício) quanto incontroláveis (condições climáticas) foram analisadas. Os resultados indicaram um potencial de economia de aproximadamente 9,6% no consumo de energia elétrica por meio da adoção de estratégias de eficiência energética nessas variáveis (BATLLE *et al*., 2020).

Em seu estudo, Litardo *et al*. (2021) investigaram a eficiência energética dos edifícios do *campus*, analisando medidas passivas e ativas, além da geração de energia no local por meio de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede. A análise das estratégias propostas mostrou economia de energia de 10% a 25% nas cargas de resfriamento e de 5% a 20% no consumo anual da edificação quando avaliadas separadamente. Ao combinar essas estratégias, a economia alcançou aproximadamente 43% no resfriamento e de 23% a 35% no consumo anual. O controle de iluminação natural foi identificado como a estratégia mais eficiente, tanto de forma isolada quanto em conjunto com outras medidas, como o uso de janelas de alto desempenho e a implementação de medidas ativas. Os resultados indicaram que, em regiões quentes e úmidas, a adoção de estratégias de iluminação natural em reformas de edifícios seria economicamente vantajosa (LITARDO *et al*., 2021).

Frente a isso, os *campi* universitários se apresentam como um grande laboratório, uma vez que são espaços com grande potencial de transformação em prol do desenvolvimento sustentável, servindo como modelo e estudo de caso sobre eficiência energética, cujos resultados podem subsidiar programas e práticas sustentáveis passíveis de extrapolação para o nível do distrito, além de resultar em economias para a instituição.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é identificar e classificar as tipologias dos edifícios presentes no *campus* Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília (UnB) que possuem maior potencial para a utilização de estratégias passivas visando a otimização energética. Esse trabalho está inserido no projeto de pesquisa "Cenários e propostas para eficiência energética em edifícios e *campus* de balanço energético nulo", no qual os edifícios selecionados a partir deste estudo servirão como estudo de caso para a aplicação dos princípios de balanço energético nulo, no intuito de converter todo o parque construído do *campus* Darcy Ribeiro em um Distrito de Balanço Energético Nulo.

3. MÉTODO

Para alcançar o objetivo proposto, foram adotados os seguintes procedimentos metodológicos:

3.1. Identificação das edifícios

Para identificar os edifícios que compõem o *campus* Darcy Ribeiro, tomou-se como referência o relatório de atividades do Eixo 1 – Morfologia Arquitetônica (SILVA *et al.,* 2023), que faz parte dos trabalhos desenvolvidos no âmbito do Edital GRE/INFRA 01/2022 de Elaboração da Proposta de Plano Diretor do *campus* Darcy Ribeiro. A atividade realizada resultou em um levantamento detalhado do uso e ocupação dos edifícios e espaços livres no *campus*, bem como na criação de um banco de dados georreferenciados que registra a morfologia arquitetônica do local. A partir dos dados georreferenciados obtidos, utilizando o software QGIS 3.28.3, foi exportada uma tabela de atributos que correspondia aos edifícios identificados durante o levantamento. Essa exportação resultou em uma tabela em formato Excel contendo 213 feições. Vale ressaltar que o mapeamento considerou não apenas os edifícios analisadas neste estudo, mas também outras estruturas arquitetônicas e urbanísticas presentes no *campus*, como bicicletários, torres de transmissão, subestações de energia etc.

3.2. Caracterização de tipologias

Na segunda etapa do trabalho, as feições extraídas dos dados georreferenciados foram organizadas por meio do agrupamento das estruturas com a mesma designação ou pertencentes ao mesmo grupo de edifícios, instituição ou faculdade. Isso resultou em um conjunto de 93 edifícios. Além disso, todas as estruturas foram categorizadas de acordo com o seu uso principal, e os códigos utilizados para essa categorização estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Categorização de tipologias dos edifícios.

CÓDIGO	TIPO DE USO
[ADM]	GABINETES DE PROFESSORES E SALAS ADMINISTRATIVAS
[ADM-LAB]	GABINETES DE PROFESSORES, SALAS ADMINISTRATIVAS E LABORATÓRIOS
[BSA]	BLOCO DE SALA DE AULA
[BDS-ADM]	BLOCO DE SALA DE AULA, GABINETE DE PROFESSORES E SALAS ADMINISTRATIVAS
[BSA-ADM-LAB]	BLOCO DE SALA DE AULA, GABINETE DE PROFESSORES, SALAS ADM. E LABORATÓRIOS
[HOS]	HOSPITALAR
[LAB]	LABORATÓRIOS
[RES]	RESIDENCIAL
[OUT]	OUTROS

3.3. Critérios de seleção

Como critério de seleção, foram considerados apenas os edifícios de uso não residencial que abrigam atividades administrativas (gabinetes de professores ou salas administrativas), salas de aula, laboratórios e similares. Tal critério levou em consideração a grande diferença de uso, período de ocupação, equipamentos, densidade ocupacional e outros, que têm grande impacto no consumo energético dos edifícios. Com isso, foram selecionados 62 edifícios do *campus* Darcy Ribeiro, nas quais foram aplicadas o "Diagrama Morfológico" (AMORIM, 2007) para avaliar as possibilidades de uso de estratégias passivas para melhoria da eficiência energética dos edifícios.

3.4. Avaliação pelo Diagrama Morfológico

O "Diagrama Morfológico" (AMORIM, 2007) é uma ferramenta de avaliação simplificada de projetos utilizada para avaliar qualitativamente projetos de arquitetura sob uma perspectiva ambiental, com foco especial no uso de luz natural. O diagrama é dividido em três níveis (espaço urbano, edifício e ambiente interno), que são considerados suficientes para caracterizar o edifício e seu entorno. Cada nível apresenta parâmetros de análise e suas respectivas variáveis, permitindo assim compreender o edifício e avaliá-lo em relação às estratégias de iluminação natural, uma vez que essas estratégias têm impactos diretos na climatização e eficiência energética dos edifícios (AMORIM, 2007). Para este trabalho, foram analisados os níveis I (espaço urbano) e II (edifício), uma vez que esses níveis permitem compreender a morfologia, a implantação e as características gerais da edificação. As figuras 1 e 2 apresentam a legenda dos parâmetros e variáveis para cada nível analisado.

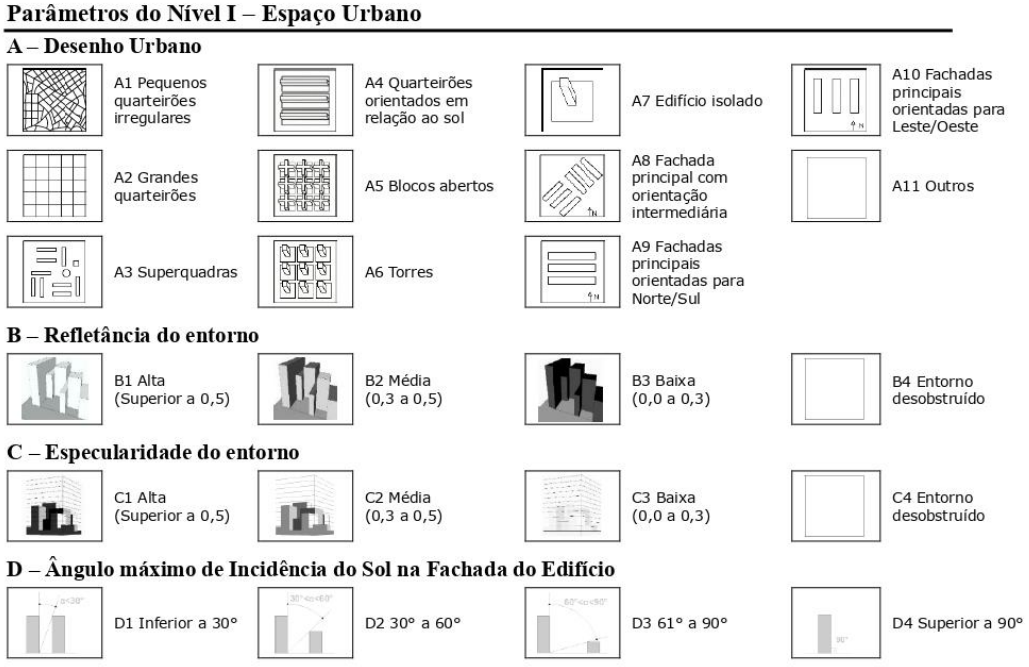

Figura 1 – Legenda do Diagrama Morfológico para análise do nível I: Espaço Urbano (AMORIM, 2017)

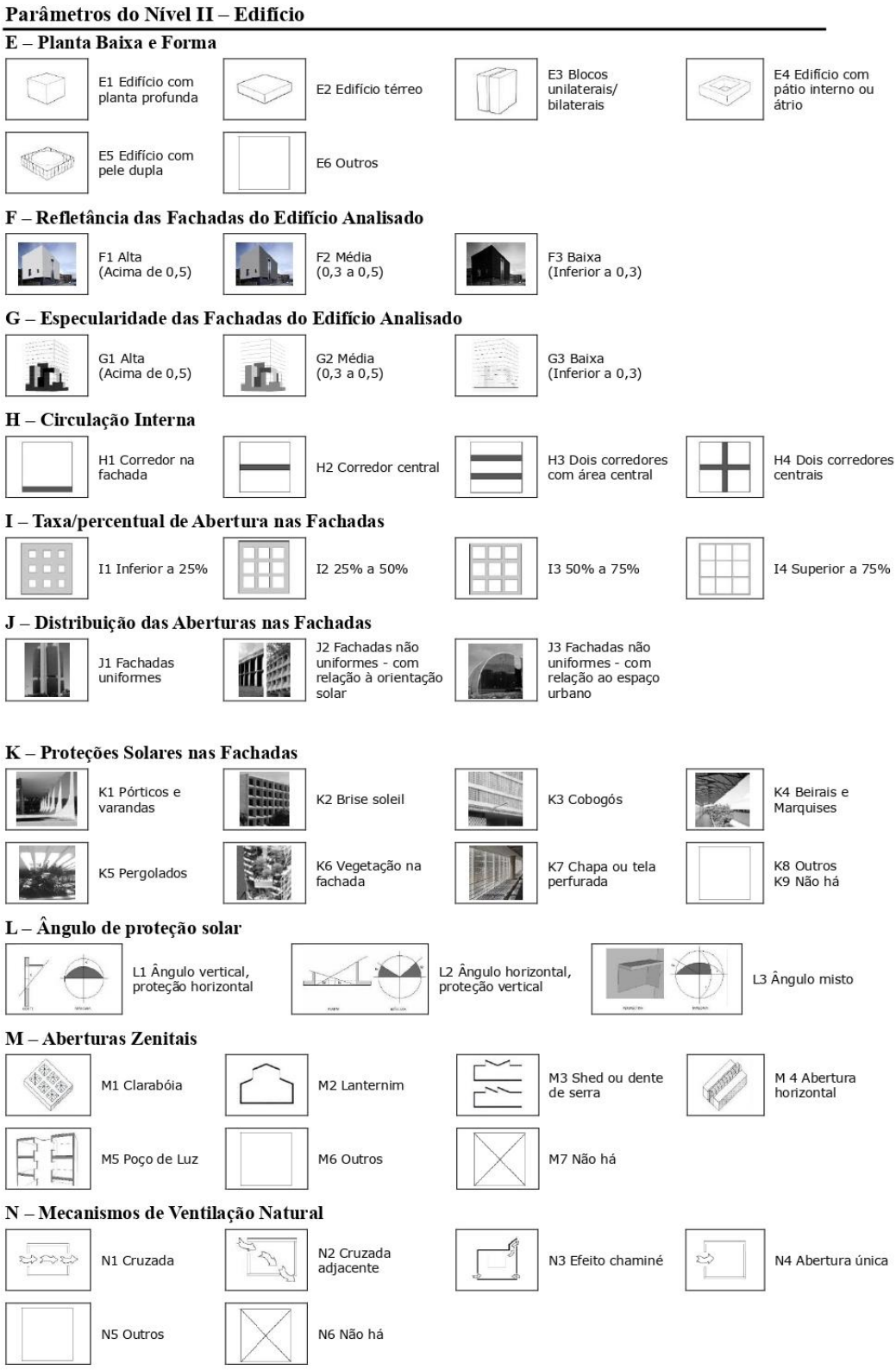

Figura 2 – Legenda do Diagrama Morfológico para análise do nível II: Edifício (AMORIM, 2017).

O preenchimento do diagrama começa com a inserção dos dados básicos da edificação, como tipologia, localização (cidade, latitude, longitude, altitude), entre outros. Em seguida, são fornecidas informações sobre o clima local, incluindo uma descrição sucinta da classificação climática, temperaturas médias anuais, mínimas e máximas, radiação solar, ventos, chuvas, entre outros. Também é incluída a carta solar específica da região. Posteriormente, é apresentada uma planta ou foto aérea que destaca a inserção da edificação no contexto urbano. Além disso, são fornecidas informações adicionais sobre os outros níveis do diagrama, acompanhadas de plantas, cortes e fotografias que evidenciam os aspectos de análise a serem destacados (AMORIM, 2007).

Para determinar o valor aproximado da refletância a ser utilizado na análise, adotou-se valores com base nas cores dos materiais, seguindo a tabela apresentada na NBR 15220-2 (ABNT, 2005). Para determinar a especularidade, utilizou-se os valores apresentados por Ikeda (2012), de acordo com o banco de dados do Programa RADIANCE que apresenta a especularidade de alguns materiais, que pode variar de 0 a 1. Os aspectos considerados como pontos a serem "otimizados" no projeto ou na edificação existente, relacionados ao desempenho da luz natural, aspectos térmicos ou que impactam diretamente na eficiência energética do edifício, como orientação solar desfavorável, aberturas superdimensionadas ou falta de dispositivos de sombreamento, devem ser destacados. Essa marcação facilita uma leitura rápida dos pontos a serem otimizados. É importante ressaltar que as avaliações realizadas são embasadas no conhecimento das estratégias de projeto adequadas ao clima local e, portanto, pontos a serem “otimizados” em um tipo de clima pode não ser problemático em outras situações (AMORIM, 2007).

Para a classificação dos edifícios quanto ao potencial de utilização de estratégias passivas para a eficiência energética foi estabelecida uma escala de 0 a >3 (tabela 2) com base na análise dos pontos a serem "otimizados" na edificação, considerando as variáveis apresentadas no diagrama. Quanto menor a pontuação, maior é o potencial de utilização de estratégias passivas na edificação para se alcançar níveis de eficiência energética por meio da seleção de estratégias apropriadas ao clima local.

Tabela 2 – Escala quanto ao potencial de uso de estratégias passivas da edificação.

0	**Muito Alto**
1	**Alto**
2	**Médio**
> 3	**Baixo**

4. RESULTADOS

4.1. Classificação a partir dos resultados da aplicação do Diagrama Morfológico

A tabela 3 apresenta a listagem dos edifícios com o resultado da aplicação do diagrama morfológico para os níveis I (espaço urbano) e II (edifício).

Tabela 3 – Resultado da análise das edifícios pelo diagrama morfológico.

ID	Denominação	Tipo de Uso	Classificação
1	APOSFUB - Associação dos Aposentados da FUB	[ADM]	1
2	ASFUB - Associação dos Servidores da FUB	[ADM]	3
3	BAES - Bloco de Salas de Aula Eudoro de Sousa	[BSA-ADM]	2
4	BSAN - Bloco de Salas de Aula Norte (UAC - Unidade Acadêmica)	[BSA-ADM]	1
5	BSAS - Bloco de Sala de Aula Sul	[BSA-ADM]	2
6	CAEP - Centro de Atendimento e Estudos Psicológicos	[BSA-ADM]	1
8	CDS - Centro de Desenvolvimento Sustentável	[BSA-ADM]	1
9	CDT - Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnologico	[ADM]	1
10	CEAD - Centro de Ensino à Distância (antiga CEBRASP)	[BSA-ADM]	0
11	CIC / EST - Departamento de Estatística e Ciência da Computação	[BSA-ADM]	0
13	EFL - Departamento de Engenharia Florestal	[BSA-ADM-LAB]	0
14	FACE - Faculdade de Administração, Contabilidade e Economia	[BSA-ADM]	1
15	FD - Faculdade de Direito	[BSA-ADM]	0
16	FE 1 - Faculdade de Educação	[BSA-ADM]	2
17	FE 3 - Faculdade de Educação	[ADM]	2
18	FE 5 - Faculdade de Educação	[BSA-ADM]	1
19	FINATEC - Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos	[ADM]	0
20	ICS - Instituto de Ciências Sociais	[BSA-ADM]	0
21	Instituto CONFÚCIO (Língua e Cultura Chinesa)	[BSA-ADM]	0
22	IPOL / IREL - Instituto de Ciências Políticas e Instituto de Relações Internacionais	[BSA-ADM]	0
23	PCTEC - Parque Científico e Tecnológico	[ADM]	1
24	PAT - Pavilhão Anísio Teixeira	[BSA]	2
25	PIJ - Programa Infanto Juvenil	[BSA-ADM]	1

26	PJC - Pavilhão João Calmon	[BSA]	2
27	PMU I - Pavilhão Multiuso I	[ADM]	1
28	PMU II - Pavilhão Multiuso II	[ADM]	1
29	PRC - Prefeitura do Campus	[ADM]	0
30	Reitoria	[ADM]	1
31	SG 1 - Instituto de Artes	[BSA-ADM]	3
32	SG 10 - Centro de Planejamento Oscar Niemeyer - CEPLAN	[ADM]	3
33	SG 2 - Departamento de Música	[BSA-ADM]	3
34	SG 4 - Departamento de Música	[BSA-ADM]	3
35	SG 8 - Auditório de Música	[BSA]	1
38	LEGGA - Laboratório de Estudos Geodinâmicos e Ambientais	[ADM-LAB]	0
39	LT - Laboratório de Termobiologia	[LAB]	0
40	IDA - Oficina de Maquetes e Protótipos	[ADM-LAB]	1
41	IDA - Oficinas especiais	[BSA-ADM]	1
42	ULEG - FS - Unidade de Laboratórios de Ensino e Graduação	[LAB]	0
43	ULEG - FT - Unidade de Laboratórios de Ensino e Graduação	[LAB]	0
45	CEFTRU - Centro Interdisciplinar de Estudos em Transportes	[ADM-LAB]	2
45	INFRALAB - Laboratório de Infraestrutura Rodoviária	[ADM-LAB]	2
46	CRAD - Centro de Referência em Conservação da Natureza e Recuperação de Áreas Degradadas	[ADM]	1
48	FEF - Faculdade de Educação Física	[BSA-ADM-LAB]	1
49	FS - Faculdade de Saúde	[BSA-ADM-LAB]	2
50	FT - Faculdade de Tecnologia	[BSA-ADM-LAB]	2
51	FT - Laboratório de Hidráulica e Estruturas	[LAB]	0
52	FT - Laboratório de Termociência e Metrologia Dinâmica	[LAB]	0
53	IB - Instituto de Ciências Biológicas	[BSA-ADM-LAB]	1
54	ICC - Instituto Central de Ciências	[BSA-ADM-LAB]	2
55	IQ - Instituto de Química	[BSA-ADM-LAB]	0
56	NMT - Núcleo de Medicina Tropical / Núcleo de Nutrição	[BSA-ADM-LAB]	0
57	SIS - Observatório Sismológico	[ADM-LAB]	0
58	SG 11 - Laboratório de Engenharia Elétrica	[LAB]	2
59	SG 12 - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental	[BSA-ADM-LAB]	2
60	SG 9 - Laboratório de Engenharia Mecânica	[ADM-LAB]	2
63	Beijódromo	[BSA-ADM]	1
65	CO - Centro Olímpico	[BSA-ADM]	2
67	BCE - Biblioteca Central e FCI - Faculdade de Ciência da Informação	[BSA-ADM-LAB]	2
68	ADUnB - Casa do Professor	[ADM]	1
84	SAA - Secretaria de Administração Acadêmica (Centro de Convivência - Bloco C)	[ADM]	0
85	CET - Centro de Excelência em Turismo	[BSA-ADM]	1
93	Oca II CoPP - Segurança	[ADM]	2

Com base nos resultados do diagrama morfológico, foram identificadas 40 edifícios com maior potencial para o uso de estratégias passivas visando alcançar eficiência energética. Desses, 20 edifícios não apresentaram nenhum ponto considerado crítico, ou seja, possuem uma forma arquitetônica e características favoráveis para o aproveitamento dos recursos naturais, como luz natural e ventilação natural. Outros 20 edifícios apresentaram apenas um ponto a ser otimizado. Além disso, 17 edifícios foram classificados como tendo um potencial médio, pois apresentam dois pontos a serem otimizados. No entanto, isso não exclui a possibilidade de melhorias no desempenho ambiental e do nível de eficiência energética por meio de intervenções pontuais. Por fim, 5 edifícios foram identificados como apresentando três pontos a serem otimizados, indicando aspectos problemáticos em suas características morfológicas que podem dificultar o uso de estratégias passivas. A figura 3 apresenta o mapeamento do *campus* Darcy Ribeiro com a classificação de cada edifício.

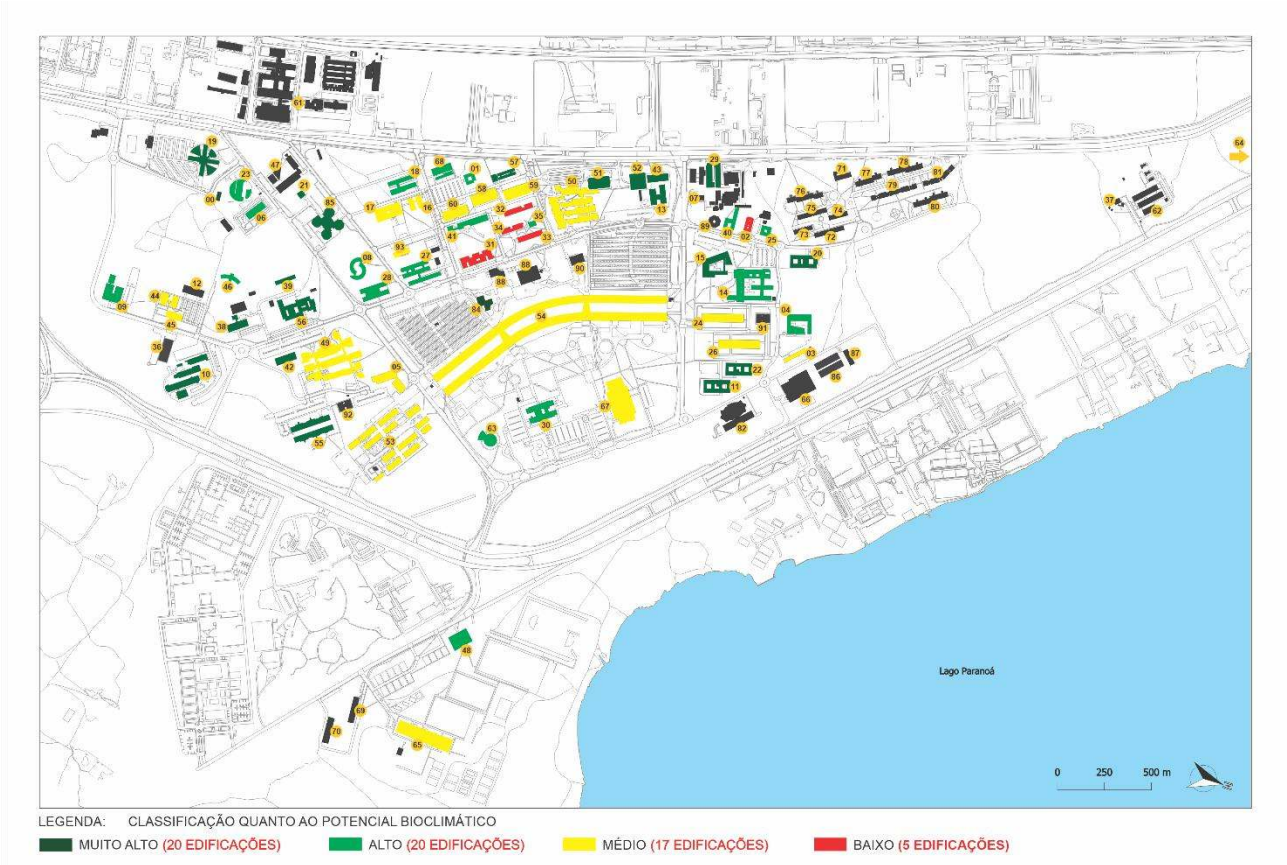

Figura 3 – Mapeamento e Classificação das Edificações.

A figura 4 apresenta um gráfico com os valores percentuais da classificação obtida por meio do diagrama morfológico. Nesse sentido, 65% dos edifícios analisadas demonstraram alto potencial para a utilização de estratégias passivas que promovem economia de energia, 27% apresentaram potencial médio, enquanto 8% apresentaram baixo potencial. Essa classificação permitiu identificar os edifícios que requerem mais atenção e intervenções para melhorar seu desempenho ambiental e energético, enquanto outros já possuem uma base favorável para aproveitar os recursos naturais de forma mais eficiente, e, consequentemente, reduzir o consumo de energia dos edifícios, mantendo o nível de conforto dos usuários.

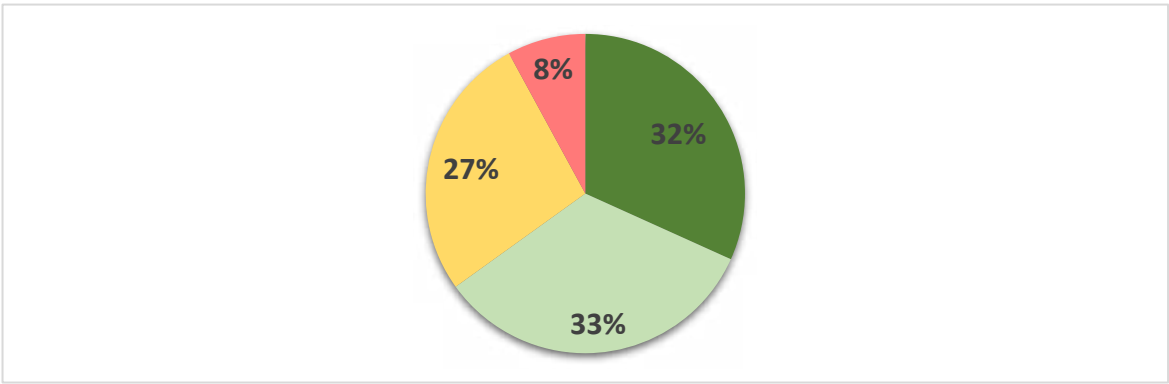

Figura 4 – Percentual de classificação dos edifícios.

Para os edifícios classificados com potencial médio e baixo, os pontos críticos que requerem otimização que foram identificados estão relacionados ao percentual de abertura nas fachadas (PAF) e ao tipo de proteção solar. No que diz respeito ao percentual de abertura nas fachadas, considerou-se como ponto crítico PAF superior a 50%, uma vez que isso afeta a quantidade e qualidade da luz natural no interior da edificação, os ganhos e perdas térmicas, a vista para o exterior e a ventilação natural (AMORIM, 2007). De acordo com Bannister *et al*. (1998 apud Garcia, 2005), PAFs maiores que 50% aumentam significativamente os ganhos e perdas térmicas, resultando em custos energéticos mais elevados para edifícios com sistemas de climatização artificial. Para edifícios não climatizados, isso também afeta diretamente a temperatura interna e pode causar desconforto aos usuários devido ao aquecimento da temperatura e ofuscamento por excesso de luz natural.

No que diz respeito ao tipo de proteção solar, é extremamente desejável que as proteções sejam projetadas segundo a necessidade de cada fachada (AMORIM, 2007), uma vez que isso implica diretamente na entrada de luz direta e difusa, como também nos ganhos térmicos e qualidade da vista para o exterior. De acordo com Litardo *et al*. (2017), a adoção de estratégias para controle da iluminação natural pode reduzir, em climas quentes, cerca de 16% na carga de resfriamento e 8% no consumo total do edifício. Posto isso, foram considerados como pontos críticos quando a edificação não possui proteção solar ou quando não atende de forma eficiente.

5. CONCLUSÕES

No que tange às exigências ambientais, o contexto atual exige a implementação de estratégias que resultem em redução do consumo energético e das emissões dos gases poluentes. O projeto de novos edifícios ou a reabilitação dos edifícios existentes desempenham um papel crucial nesse processo. Neste cenário, os *campi* universitários se apresentam como excelentes objetos de pesquisa, seja para melhoria de sua infraestrutura, seja para o desenvolvimento de novas tecnologias e aprimoramento do ensino e pesquisa.

O presente trabalho corresponde à primeira fase do projeto de pesquisa "Cenários e propostas para eficiência energética em edifícios e campus de balanço energético nulo". O objetivo foi identificar e classificar os edifícios do *campus* Darcy Ribeiro, da Universidade de Brasília, quanto ao seu potencial de utilização de estratégias passivas para melhorar a eficiência energética, por meio do aproveitamento de recursos naturais, como iluminação natural e ventilação natural.

Após analisar os edifícios selecionados neste estudo utilizando o Diagrama Morfológico, observou-se que todos os edifícios avaliados apresentam pontos positivos e pontos que requerem atenção, os quais podem ser otimizadas por meio de estudos e adoção de estratégias projetuais com base nas variáveis analisadas. É evidente que a maioria dos edifícios analisados possui potencial para utilização de estratégias passivas, o que sugere um alto potencial de economia de energia por meio da implementação de medidas que promovam o uso dessas estratégias.

Com base no levantamento e classificação realizados, será conduzida uma análise estatística para correlacionar as variáveis que influenciam as condições de conforto e economia de energia. O objetivo é selecionar um grupo representativo de edifícios que servirá como estudo de caso para uma análise mais aprofundada do comportamento energético e aplicação dos princípios de balanço energético nulo. Serão consideradas as estratégias projetuais de condicionamento passivo adotadas no LabZeroUnb, uma edificação em construção no *campus* Darcy Ribeiro, como referência.

Essa análise permitirá a criação de cenários de consumo energético no conjunto de edifícios existentes, visando a criação de distritos de balanço energético nulo ou quase nulo. Esses cenários serão desenvolvidos com base nas estratégias adotadas no LabZeroUnb e no aprofundamento do conhecimento sobre o comportamento energético dos edifícios selecionados, proporcionando *insights* valiosos para a promoção da eficiência energética e sustentabilidade no ambiente construído.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

AMORIM, C.N.D. Diagrama morfológico Parte 1: instrumento de análise e projeto ambiental com uso de luz natural. Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo, Brasília, n. 3, 2007. DOI: http://dx.doi.org/10.14430/issn.1674-0444.n3.2007.12111.

AMORIM, C. N. D. Eficiência energética em edificações: perspectivas para a universidade de Brasília. In: LAYRARGUES, Philippe Pomier; ZANETI, Izabel Cristina Bruno Bacelar (orgs.). Universidade para o século XXI: educação e gestão ambiental na Universidade de Brasília. Brasília: Cidade Gráfica e Editora, 2011, p. 193-208.

BATLLE et al. Uma metodologia para estimar o uso de energia de linha de base equantificar a economia no consumo de energia elétrica em edifícios de instituições de ensino superior: Estudo de caso, Universidade Federalde Itajubá (UNIFEI).J. Limpo. Prod. 2020, 244, 118551. DOI: doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118551.

BAYOUMI, M. Potential of integrating power generation with solar thermal cooling to improve the energy efficiency in a university campus in Saudi Arabia. Energy & Environment, v. 31, 130–154, 2020. DOI: doi.org/10.1177/0958305X187872

BRAGA, D. K.A rquitetura residencial das superquadras do Plano Piloto de Brasília: aspectos de conforto térmico.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2005. Disponível em: https://repositorio.unb.br/handle/10482/2116. Acesso em 20 jun. 2023.

DOULOS et al. Minimizing energy consumption for artificial lighting in a typical classroom of a Hellenic public school aiming for near Zero Energy Building using LED DC luminaires and daylight harvesting systems. Energy & Buildings, v. 194, 2019. DOI: doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.04.033

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço energético Nacional 2022. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2022.

IKEDA D.F.R. Análise de projeto com foco em iluminação natural: aprimoramento e validação de um método. Dissertação. (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2012. Disponível em: https://repositorio.unb.br/handle/10482/11926. Acesso em 20 jun. 2023.

KUNWAR et al. Energy savings and daylighting evaluation of dynamic venetian blinds and lighting through full-scale experimental testing. Energy, v. 197, 2020. DOI: doi.org/10.1016/j.energy.2020.117190

LITARDO et al. Energy Saving Strategies and On-Site Power Generation in a University Building from a Tropical Climate. Applied Sciences, v. 11, 542, 2021. DOI: doi.org/10.3390/app11020542

LO BASSO, G. et al. Hybrid systems adoption for lowering historic buildings PFEC (primary fossil energy consumption): a comparative energy analysis. Renewable Energy, v. 117, p. 414-433, 2018. DOI: doi.org/10.1016/j.renene.2017.10.099

PAZOUKI et al. A fuzzy robust multi-objective optimization model for building energy retrofit considering utility function: A university building case study. Energy & Buildings, v. 241, 2021. DOI: doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110933

QEVEDO et al. Apllying machine learning to develop energy benchmarking for university buildings in Brazil. Journal of Buildings Engineering, 63, 2023. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105468

ROSE, F. Building-integrated photovoltaics (BIPV) in historical buildings: Opportunities and constraints. Energies, v. 13, p. 1-28, 2020. DOI: doi.org/10.3390/en13143628

SILVA *et al*. Relatório de Atividades do Eixo 1: morfologia arquitetônica. Brasília: Universidade de Brasília, 2023.

SOARES *et al*. Uma revisão bibliográfica de medidas de eficiência energética em edifícios. In: Seminário Regional sobre Gestão de Recursos Hídricos, 7, 2021, Campos de Goytacazes. Anais […]. Campos do Goytacazes: Essentia Editora Fluminense, v. 15, n. 22021, p. 32-47, 2021. DOI: 10.19180/2177-4560.v15n12021p32-47

TEREZ-ZUBIACA *et al*. Cost-effective building renovation at district level combining energy efficiency & renewables – Methodology assessment proposed in IEA EBC Annex 75 and a demonstration case study. Energy & Buildings, v. 224, 2020.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF) pelo suporte financeiro nesta pesquisa.