

Organizadores

Bianca Anacleto Araújo de Sousa

Auristela Correa Castro

Reginaldo da Silva Sales

Reinaldo Eduardo da Silva Sales

A CONSTRUÇÃO CIVIL

em uma perspectiva econômica, ambiental e social

1ª EDIÇÃO



editora científica

2021 - GUARUJÁ - SP

Copyright© 2021 por Editora Científica Digital

Copyright da Edição © 2021 Editora Científica Digital

Copyright do Texto © 2021 Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

C758 A construção civil [livro eletrônico] : em uma perspectivas econômica, ambiental e social / Organizador Bianca Anacleto Araújo de Sousa... [et al]. – Guarujá, SP: Científica Digital, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-89826-06-4

DOI 10.37885/978-65-89826-06-4

1. Construção civil – Aspectos socioambientais. 2. Construção civil – Indústria. I. Sousa, Bianca Anacleto Araújo de. II. Sales, Reginaldo da Silva. III. Castro, Auristela Correa. IV. Sales, Reinaldo Eduardo da Silva.

CDD 690

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Parecer e Revisão Por Pares

Os textos que compõem esta obra foram submetidos para avaliação do Conselho Editorial da Editora Científica Digital, bem como revisados por pares, sendo indicados para a publicação.

O conteúdo dos capítulos e seus dados e sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. É permitido o download e compartilhamento desta obra desde que no formato Acesso Livre (Open Access) com os créditos atribuídos aos respectivos autores, mas sem a possibilidade de alteração de nenhuma forma ou utilização para fins comerciais.



editora científica

EDITORA CIENTÍFICA DIGITAL LTDA

Guarujá - São Paulo - Brasil

www.editoracientifica.org - contato@editoracientifica.org

Retrofit e preservação de edifícios não residenciais modernos em Brasília - uma abordagem para eficiência energética e iluminação natural

I Cláudia Naves David **Amorim**
UnB

I José Manoel Morales **Sánchez**
UnB

I Joára **Cronemberger**
UnB

I João Francisco Walter **Costa**
UnB

RESUMO

A temática da eficiência energética de edificações é fundamental para melhorar a qualidade do parque construído e tem merecido especial atenção na cadeia construtiva da indústria da construção. Trabalhar a eficiência energética juntamente com a qualidade ambiental pode significar, também, introduzir iluminação natural onde for possível. Este artigo apresenta pesquisa sobre iluminação natural e eficiência energética em edifícios não residenciais modernos do Plano Piloto de Brasília, com foco na otimização da eficiência energética e qualidade ambiental e sua influência na preservação do patrimônio moderno. O objetivo é contribuir para a melhoria da sustentabilidade e conservação do patrimônio arquitetônico, com indicações para iluminação natural e eficiência energética. O método proposto combina levantamentos in loco, avaliação de variáveis arquitetônicas e de preservação, simulações computacionais de iluminação natural e de demanda energética. Considerando as características morfológicas de 267 edifícios na área central de Brasília, os resultados demonstraram que, para edifícios de 4, 10 e 15 pavimentos, a otimização das variáveis de percentual de aberturas na fachada, características óticas de vidros e proteções solares poderia diminuir a demanda de energia 37% em média, sendo factível alcançar o balanço energético nulo nos edifícios de 4 pavimentos. As conclusões permitirão desenvolver um modelo de parâmetros analíticos para utilização de critérios norteadores para intervenções em edifícios com valor histórico para o patrimônio moderno.

Palavras-chave: Iluminação Natural, Eficiência Energética, Simulação Computacional, Patrimônio Moderno.

■ INTRODUÇÃO

A sustentabilidade ambiental, hoje, é discussão de extrema importância e tem levado a mudanças significativas em todos os âmbitos no contexto mundial. Vários autores, nesta ótica, propõem prioridades para alcançar a sustentabilidade, dentre as quais a eficiência energética, juntamente com a qualidade ambiental: projetar e construir edifícios energeticamente eficientes; construir edifícios “saudáveis” – conforto ambiental e segurança: dar prioridade a isto pode significar, por exemplo, introduzir luz e ventilação naturais onde for possível; maximizar a longevidade dos edifícios: projetar visando a durabilidade e a adaptabilidade funcional dos edifícios (AMORIM, 2017).

Os edifícios existentes normalmente possuem uma grande quantidade de recursos culturais e materiais, e contribuem para dar um senso de identidade aos lugares. Nesta lógica, otimizar a eficiência energética deve ser uma meta quando se reforma um edifício, no conceito de *retrofit*. A temática da eficiência energética de edificações é fundamental para a melhoria da qualidade do parque construído e tem merecido especial atenção nos diversos âmbitos e setores da cadeia construtiva da indústria da construção, com impactos importantes nos setores público e privado. Em diversos países, incluindo o Brasil, estratégias têm sido planejadas para obtenção de maior eficiência energética, através de legislações, incentivos e outros. Por exemplo, na União Europeia, em 2010, foi exigido que os seus estados membros construam até o final de 2020, o edifício com padrão “nearly or net zero energy building” (edifício de balanço energético nulo ou próximo de nulo) para todas as edificações novas. Já nos EUA, há o objetivo da introdução desse padrão em edificações residenciais e não-residenciais até 2020 e 2025. Neste contexto, a iluminação representa forte componente também ligado à qualidade, conforto dos ambientes e saúde dos usuários, especialmente em edifícios de escritórios, além de consumir aproximadamente 19% (2900 TWH) da energia elétrica no mundo (IEA, 2014).

No Brasil, as edificações são responsáveis por 50,8% do consumo de energia elétrica (BEN, 2019). Em edifícios comerciais e públicos com e sem sistemas de condicionamento de ar, 64% do consumo de energia elétrica deve-se aos usos finais de iluminação e de condicionamento, chegando a 86% em bancos e escritórios. Edifícios públicos e comerciais, no Brasil, demandaram 21,3% da produção brasileira de energia elétrica em 2018. Em uma cidade planejada, como Brasília, entender as características dos códigos urbanos e da legislação pode ser o primeiro passo para melhorias e otimização da forma arquitetônica e da envoltória do edifício, especialmente em edifícios não residenciais.

Em edifícios existentes, intervenções de *retrofit* ou reabilitação podem melhorar as condições de conforto para os usuários e o desempenho energético. Os *retrofits* podem ser definidos como “intervenções nas edificações que alteram os sistemas de iluminação,

condicionamento de ar e/ou a envoltória, por meio da remodelação ou atualização do edifício ou dos sistemas, através da incorporação de novas tecnologias e conceitos.” (MPOG/SLTI, 2014). Como resultado, uma melhoria significativa das condições ambientais e economias energéticas podem ser estimadas. Além disso, um *retrofit* pode ser a oportunidade de também produzir energia na própria edificação, através, por exemplo, da instalação de sistemas fotovoltaicos nas envoltórias, buscando desta maneira não só a eficiência energética, mas aproximar-se da meta de balanço energético nulo.

A arquitetura atua como um filtro determinante da quantidade e qualidade da luz natural (BAKER, 1998, FONTOYONONT, 1999). Portanto, um dos principais aspectos a ser considerado ao se manipular a iluminação natural em edifícios são as variáveis relacionadas à arquitetura: dimensões, forma e localização de aberturas laterais e zenitais, proteções solares, refletâncias internas, etc, além de considerar o contexto climático local, orientação do edifício, entorno, etc (AMORIM, 2007).

Com relação a isto, de fato, na arquitetura moderna o uso do vidro foi potencializado enormemente. Em 1951 a arquiteta Lina Bo Bardi e o crítico de arte Pietro Maria Bardi inauguravam a sua “Casa de Vidro” no bairro do Morumbi, em São Paulo. Nesta casa, nos edifícios de Brasília e nos muitos outros que vieram depois, o vidro ultrapassa os vãos das janelas para compor as próprias paredes. Com Brasília, houve a afirmação plena do movimento modernista (ACAYABA & FICHER, 1982) e o triunfo da plástica, principalmente através da obra de Oscar Niemeyer. O vidro passa a fazer parte da paisagem brasileira, definitivamente. E em 1960, Oscar Niemeyer, novamente em companhia de Lucio Costa, dava ao Brasil e ao mundo a obra monumental da nova capital do país, feita de concreto e vidro. Muitos edifícios foram projetados por Oscar Niemeyer, no período de inauguração da cidade, ou por arquitetos influenciados pelas ideias modernistas.

O modernismo foi aplicado em edifícios não residenciais em várias cidades do Brasil, a partir de 1960, e muitos princípios continuam sendo utilizados atualmente, como o brise-sol e as fachadas envidraçadas utilizadas, muitas vezes, independentemente da orientação solar das superfícies (SILVA, 2007). Dessa forma, os edifícios de escritórios em Brasília, apresentam uma leitura visual semelhante. Nos trabalhos de Silva (2007) e Lima (2010), através de um levantamento fotográfico, buscou-se caracterizar as fachadas dos mesmos, necessitando atualmente de uma atualização e ampliação deste levantamento para melhor caracterização. Ao lado da plasticidade representada pelo vidro como componente de fachada, no entanto, há todas as questões com relação aos problemas de ganho térmico e ofuscamento. Por outro lado, após mais de 50 anos, na cidade de Brasília, muitos edifícios passam a ter problemas e exigem reformas para modernização e adequação às novas exigências de conforto, eficiência e desempenho (Figura 1). A Figura 1 apresenta intervenção

realizada em edifício de escritórios na área central de Brasília onde a não preservação da característica original levou a uma solução de envidraçamento que aumentou o custo total de energia.

Figura 1. Imagens da cronologia da intervenção na fachada de edifício localizado no Setor Bancário Sul: substituição dos brises por vidros reflexivos.



(fotos: Autores)

Algumas novas normas e regulamentações, como a NBR 15.575 (ABNT, 2013), o RTQ-C (BRASIL, 2009) e a IN 02 (MPOG, 2014) podem ser elencadas. A Instrução Normativa 02, de 2014, em especial, impõe que todas as reformas em edifícios públicos federais, que envolvam quaisquer intervenções na envoltória (fachadas e cobertura) do edifício e iluminação, tenham obrigatoriamente Etiqueta A de eficiência energética segundo o PBE/Edifica. Esta normativa criou um fato concreto onde as edificações públicas, ao sofrerem qualquer tipo de reforma, são solicitadas a melhorarem seu nível de eficiência energética, sempre. Além disso, desde 2012 regulamentou-se no país o sistema de net-metering para a injeção de energia de fontes renováveis por microgeração nas redes de distribuição (ANEEL, 2015). Enseja-se aqui a oportunidade de buscar o objetivo do balanço energético nulo. Dada a alta disponibilidade de irradiação solar no país (RÜTHER e ZILLES, 2011) e a variada gama de combinações favoráveis para orientação e inclinação de módulos fotovoltaicos em Brasília (CRONEMBERGER, 2012), a energia elétrica necessária para o consumo poderia ser gerada on-site em coberturas e fachadas.

Segundo o IPHAN-DF (2016), “toda reforma arquitetônica, em qualquer edifício, deve ser autorizada pelo poder público local, no caso a RA - 1, conforme determina o Código de Edificações. Do contrário, a intervenção está ilegal.” Também, por força legal, o Iphan/Distrito Federal realiza vistoria e fiscalização periódica no espaço do conjunto tombado.

No caso dos edifícios modernos tombados ou em processo de tombamento, o Iphan defende o bom senso, “mas cada caso é um caso, pois depende do tipo de edifício, do grau de intervenção proposto e do nível de proteção que incide sobre o mesmo. Cabe ressaltar, o Código de Edificações tem exatamente o objetivo de normatizar tais intervenções na cidade. Portanto, sem conhecer o caso, é impossível definir até que ponto um prédio pode ser

reformado sem ferir o tombamento” (IPHAN, 2016). No entanto, na prática, não é simples definir até onde é possível intervir nos edifícios modernos para melhorar seu desempenho energético e qualidade ambiental, sem ferir o tombamento. As regras não são claras.

A condição de patrimônio da humanidade que Brasília detém desde 1987 e o tombamento das obras de Oscar Niemeyer enseja um sistemático estudo da preservação de todas as edificações cuja força simbólica deve ser resguardada na sua concepção original. Muitas intervenções que se veem hoje nestas edificações não seguem um padrão que garanta sua preservação e nem um melhor desempenho em termos de eficiência energética e uso da luz natural.

A atuação de preservação de patrimônio tombado requer pesquisa histórica e construtiva tanto arquitetônica como artística. A base de dados desta pesquisa representa um universo de cerca de 267 edificações construídas ao longo dos últimos 60 anos de existência da capital da república. A denominação “modernos” refere-se aos edifícios construídos predominantemente nos anos de 1960 a 1980 e que possuem características de linguagem arquitetônica que poderia se denominar de modernismo brasileiro da metade do século XX. Silva (2017) apresenta os atributos para caracterização de um patrimônio arquitetônico, considerando o trabalho anterior (SILVA, 2012), agrupados nas seguintes categorias: composição, caracterização dos espaços e materiais, dentro do arcabouço dos aspectos Significância, Integridade e Autenticidade na Arquitetura Moderna.

No contexto da cidade de Brasília, a situação atual demonstra uma lacuna de pesquisas que efetivamente demonstrem a eficácia das diversas alternativas para uso de luz natural e conseqüente qualidade ambiental e eficiência energética, relacionando critérios relativos às variáveis arquitetônicas e aos limites da preservação das características modernas no caso específico de alguns edifícios não residenciais modernos. Deve-se fornecer aos projetistas arquitetos e aos que lidam com a manipulação das edificações indicações precisas para a otimização da qualidade da iluminação natural e eficiência energética no ambiente construído, que podem e devem ser incorporadas na prática projetual e nas regulamentações vigentes e em uso.

O objetivo geral é contribuir para a melhoria da sustentabilidade ambiental e da conservação do patrimônio arquitetônico, através de indicações de intervenções para maior qualidade da iluminação natural e eficiência energética de edifícios não residenciais modernos no Plano Piloto de Brasília. Com esta visão projetaram-se os seguintes objetivos específicos:

- Mapear as características de fachadas e geometria dos edifícios não residenciais modernos situados na área central do Plano Piloto;
- Avaliar o impacto das seguintes variáveis na qualidade da iluminação natural e eficiência energética em edifícios de escritórios: % de vidros nas fachadas, elementos

- de controle solar e tipo de vidro;
- Relacionar as variáveis arquitetônicas estudadas ao desempenho da iluminação natural e eficiência energética, considerando edificações de escritórios e o contexto do Plano Piloto de Brasília;
 - Extrapolar a análise considerando as necessidades de preservação dos edifícios modernos de Brasília;
 - Compatibilizar as exigências de preservação com as diretrizes de iluminação natural e eficiência energética de edifícios não residenciais modernos

Este trabalho amplia os resultados apresentados em estudos anteriores (AMORIM ET AL, 2019), explorando as variáveis arquitetônicas e de eficiência energética, assim como as questões relativas ao valor arquitetônico e patrimonial de obras construídas no Plano Piloto de Brasília.

■ MÉTODO

Para desenvolvimento dos objetivos pretendidos neste projeto, foram desenvolvidas várias atividades, descritas a seguir.

Caracterização de Tipologias e Definição de Modelos Representativos

A caracterização de tipologias de edifícios não residenciais (em especial de escritórios) na zona central no Plano Piloto foi realizada através de visitas *in loco*, registros fotográficos e análises com as ferramentas Google Street View Google Earth, Wikimapia e Google Maps. O levantamento abarcou as características morfológicas de 233 edifícios da zona central do Plano Piloto (considerando forma, altura, orientação), bem como de composição e características das fachadas (percentual de aberturas, tipos de vidros, presença de elementos de proteção solar), além de ano de construção, complementando o banco de dados proposto anteriormente por Lima (2007). Para uma amostra de 30 edifícios, os dados de consumo de energia foram coletados, para o período relativo aos anos entre 2013 e 2017. Uma amostra de 8 edifícios foi escolhida para a caracterização dos padrões de uso e ocupação dos ambientes internos (escritórios). A partir destes dados, foram definidos modelos representativos a serem simulados. Foi feita uma compilação de banco de dados, através da classificação dos edifícios por setor, arquiteto, ano de construção, época, uso, morfologia (altura e forma do edifício, características das fachadas) e grau de tombamento, através das ferramentas Microsoft Access e Excel. A partir dos dados coletados, foram gerados gráficos, tabelas resumo e mapas. A figura 2 apresenta o banco de dados criado para este fim.

Figura 2. Banco de dados dos edifícios de escritórios da zona central de Brasília



(fotos: Autores)

Definição de variáveis para o estudo da iluminação natural e eficiência energética e desenvolvimento de simulações computacionais

As simulações computacionais de iluminação natural e consumo energético são descritas em COSTA (2018). Foram utilizados os softwares Daysim e Design Builder para uma das tipologias representativas. das condições teóricas de iluminação natural e consumo energético (considerando os usos finais ar condicionado e iluminação) nestes edifícios. Foram utilizadas as plataformas computacionais Daysim, DIVA e Design Builder (COSTA, 2018). O estudo considerou as variáveis arquitetônicas de envoltória baseadas em estratégias que podem promover a qualidade de iluminação natural e a melhor eficiência energética, ou até mesmo o balanço energético nulo. As variáveis utilizadas no estudo são: percentual de aberturas nas fachadas (PAF), proteções solares, fator solar e transmissão luminosa do vidro. Finalmente, com objetivo de verificar possível aptidão para atingir o balanço energético nulo, foram realizadas simulações de produção de energia solar fotovoltaica instaladas nas coberturas dos edifícios, utilizando o software PVSYST.

Desenvolvimento de diretrizes para intervenção em edifícios do patrimônio moderno

O desenvolvimento de diretrizes teóricas a respeito das possíveis intervenções nos edifícios contempla os dois eixos temáticos envolvidos na pesquisa. Com essa intenção, os fundamentos da preservação e as questões específicas relacionadas à arquitetura moderna são considerados em conjunto com as diretrizes teóricas a respeito do *retrofit* destes casos típicos. No trabalho de Silva (2017) sobre a preservação de edifícios do patrimônio moderno com análise comparativa da concepção e preservação de duas edificações icônicas, encontra-se parte da base conceitual desta pesquisa.

Nessa análise das possibilidades de *retrofit* aborda-se preliminarmente a teoria da preservação de patrimônio moderno ressaltando-se os aspectos Significância, Integridade e Autenticidade na arquitetura moderna. O cerne do que se deve preservar e garantir como

testemunho de um bem é a significância ou o conjunto de valores pelos quais ele é reconhecido como patrimônio. No caso dos edifícios em uso, os desafios em relação aos princípios são as intervenções que, embora concorram para a otimização do funcionamento, podem afetar ou comprometer o que deveria ser preservado. Em síntese, é desejável que as intervenções garantam a integridade e autenticidade dos valores.

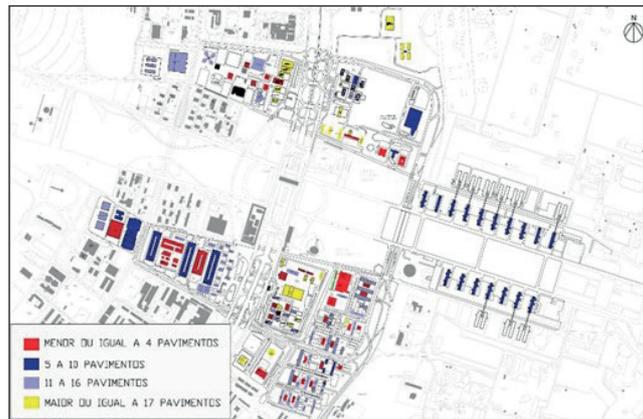
Assim, busca-se contemplar não somente questões de iluminação e energia, mas também a observância quanto à preservação de edifícios. Para esta etapa do trabalho especificamente, definiu-se um recorte da área central de Brasília (figura 2), relativo ao Setor Comercial Sul (SCS), que possui edificações com mais de 30 anos e tipologias de fachada e forma estrutural diversas. O cotejo das edificações do SCS com a categorias de atributos permite inferir que apenas os seguintes atributos são variáveis no conjunto edificado: Forma e Concepção; Linguagem / Imagem e Técnicas. Estas variáveis serão, por sua vez, resumidas (baseado em Siegel, 1966) na denominada Forma Estrutural do edifício, que em última instância, representa a envoltória (fachadas) do mesmo.

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização de tipologias e definição de modelos representativos

A Figura 2 apresenta mapa da área central estudada, com a caracterização de altura dos edifícios. Apenas 9 edifícios foram construídos após 2010, sendo que, dentre o total, 141 são edifícios públicos e 99 privados. Em relação ao ano de construção, foi possível obter apenas 42% dos dados dos edifícios, em que se evidenciou que 34 edifícios correspondem à década de 1960, 30 à década de 1970, 5 à década de 1980, 13 à década de 1990, 9 à década de 2000 e 9 a partir de 2010 até atualmente. Em relação aos dados coletados, ao dar enfoque nos setores e retirando-se a Esplanada dos Ministérios, observou-se maior número de edificações entre 1970 e 1980.

Figura 2. Mapa com os edifícios de escritórios na área central de Brasília



Fonte: Costa ET AL, 2017

Quanto ao percentual de aberturas e proteções solares, 40% dos edifícios estudados possuem fachadas quase inteiramente envidraçadas e 70% das fachadas não apresentam nenhum tipo de sombreamento de janela. 30% dos edifícios apresentam brises ou pórticos. No que diz respeito ao tombamento, evidenciou-se que apenas 18 edifícios são tombados pelo IPHAN, porém, alguns deles possuem potencial de tombamento devido à importância simbólica, construtiva e/ou arquitetônica. De acordo com a Tabela 1, constata-se a presença de 32% do total de edifícios até 4 pavimentos. Quanto à forma, identificou-se 89% dos edifícios como forma retangular.

Tabela 1. Resumo dos dados: número de pavimento, forma do edifício e orientação solar da fachada principal

Informação	Tipo	2010	2017
Número de Pavimentos	1 a 4	33%	32%
	5 a 10	31%	30%
	11 a 16	27%	28%
	Maior que 17 (máx.28)	9%	10%
Forma dos Edifícios	Circular	0%	0%
	Irregular	5%	4%
	Retangular	91%	89%
	Quadrada	4%	7%
Orientação Solar da Fachada Principal	18º (Norte)	12%	13%
	108º (Leste)	39%	35%
	198º (Sul)	15%	18%
	288º (Oeste)	23%	22%
	Outros	11%	12%

Fonte: OLIVEIRA (2017)

Obteve-se 30 contas de energia de um universo de 267 edifícios, para o período entre 2013 e 2016, representando uma amostra de 10%. Os edifícios foram classificados como públicos devem mostrar total transparência em relação às contas de energia por lei, o que

facilita o acesso de informações, mas o mesmo não acontece com os privados. Obteve-se a média de consumo de 131,9 kWh/m².ano (entre 88 e 286 kWh/m².ano).

Tabela 2. Resumo dos dados: exemplo de número de pavimento e consumo energético entre 2013 e 2016

Edifício	N° pavimentos	Consumo de energia elétrica em kWh/m ² .ano				
		2013	2014	2015	2016	Média do período
A	2	96	100	95	93	96
B	2	--	123	125	--	124
C	4	156,2	157,8	159,8	148,1	155,5
D	4	103,4	88,1	98,6	89,7	95
E	4	92	177	176	142	146,8
F	4	97	90	88	--	91,7
G e H	5 e 3	120,3	119	125,5	121,2	121,5
I	6	75	73	63	--	70,3
J	7	--	111	104	130	115
K	8	286	266	237	246	258,8
L	10	137	144	136	--	139
M	10	120	122	128	--	123,3
N	12	140,3	140,2	155,2	157,8	148,4
O	18	158	167	172	150	161,8
Média de consumo		131,8	134,1	133,1	142,0	131,9

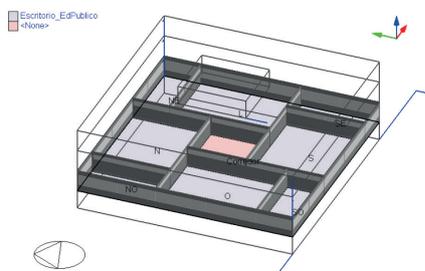
Fonte: OLIVEIRA (2017)

A partir dos dados coletados e da frequência de ocorrência, identificaram-se 3 modelos representativos dos edifícios, a serem simulados:

- Modelo 1: Edifícios planta quadrada (30 x 30 m), 4 pavimentos
- Modelo 2: Edifícios planta retangular (11 x 102 m), 10 pavimentos
- Modelo 3: Edifícios planta retangular (15 x 35 m), 15 pavimentos

A Figura 3 caracteriza um exemplo do modelo utilizado para o edifício de 4 pavimentos, com as respectivas zonas:

Figura 3. Modelo do edifício de 4 pavimentos.

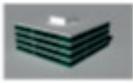
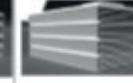


Fonte: COSTA, 2018

Resultados das simulações computacionais

Após a definição do modelo representativo de 4 pavimentos, foram simulados os consumos de energia para ar-condicionado, iluminação e equipamentos de escritórios. A figura 4 resume os resultados.

Figura 4. Avaliação da influência das variáveis no consumo energético do modelo de 4 pavimentos.

Eficiência da envoltória			
Maior consumo			Menor consumo
			
PAF 80% Sem proteção solar	PAF 50% Sem proteção solar	PAF 32% Com proteção solar	PAF 50% Com proteção solar
Consumo (kWh/m²ano)			
115	114	102	99

Fonte: COSTA, 2018

No Modelo 1 (4 pavimentos), a proporção de consumo por uso final no modelo original é de 25% para iluminação, 50% para condicionamento de ar e 25% para outras cargas de demanda elétrica. O consumo energético total é 115kWh/m²ano e o modelo simulado mais próximo do original apresenta alto valor de Percentual de Área Envidraçada na Fachada (PAF de 80%), sem proteção solar, o que acarreta aumento do consumo de ar-condicionado. Para este modelo, conclui-se que as variáveis de Percentual de Área Envidraçada (entre 30% e 50%) e vidro (FS 43%/TL 32%) e a adição de proteções solares foram responsáveis pela diminuição de 20% do consumo energético, mantendo o equilíbrio entre a quantidade de iluminação natural nos ambientes e o consumo energético. No total, foi obtida uma redução de 46% no consumo energético total entre o modelo de 4 pavimentos (edifício convencional de escritório, com maior consumo) e o modelo otimizado (menor consumo encontrado).

O mesmo procedimento foi aplicado para os demais modelos de 10 e 15, respectivamente. No Modelo 2 (de 10 pavimentos), a tipologia original apresenta consumo simulado de 108 kWh/m²ano, com PAF de 80% e sem proteções solares. Aqui, a proporção de consumo por uso final é: 7% para iluminação, 67% para condicionamento de ar e 26% para outras cargas de equipamentos elétricos - escritório. Simulados diversos cenários, a melhor combinação de envoltória é similar ao modelo de 4 pavimentos. Em relação à envoltória – quando analisado aquela próxima ao original e otimizada, a redução do consumo energético total é de 13,7%.

No Modelo 3 (de 15 pavimentos), a melhor combinação de envoltória considerando o consumo energético total é semelhante ao discutido nos modelos de 4 e de 10 pavimentos. Na situação original, com PAF de 80% e sem proteção solar, a proporção de consumo

por uso final é: 38% para iluminação, 49% para ar-condicionado e 22% para outras cargas de demanda elétrica. Nessa condição, foi encontrado o maior consumo simulado, de 129,7 kWh/m²ano, semelhante à média de 132kWh/m²ano obtida no levantamento de dados iniciais dos 30 edifícios. A Tabela 3 apresenta a possível economia global, considerando intervenções em todos os edifícios analisados.

Tabela 3. Economia global de energia elétrica , considerando o conjunto de edificações analisadas.

Modelo	Representatividade	Percentual de onomia possível
1 - 4 PAV	32% (87 unidades)	46%
2 - 10 PAV	30% (84 unidades)	43%
3 - 15 PAV	25% (68 unidades)	37%
-	13% (27 unidades)	-
Média ponderada do percentual de economia global		37%

Fonte: Autores

Um edifício de balanço energético nulo é uma edificação conectada à rede pública de energia elétrica, com demanda reduzida de eletricidade e capacidade própria de supri-la por meio de energias de fontes renováveis no período de um ano.

Considerou-se assim a geração de energia de fonte solar fotovoltaica nas coberturas das edificações de 4, 10 e 15 pavimentos, e conseqüente balanço energético possível para os cenários de inserção de medidas de eficiência energética. Tomaram-se como premissas a ocupação de 100% da área de cobertura para instalação de sistemas fotovoltaicos (módulos comerciais, células de silício policristalino e eficiência 18%) aplicados horizontalmente e livres de sombras.

O cálculo do balanço de energia levou em consideração o método de compensação de energia baseado no esquema de medição de rede regulado pela Agência Nacional Reguladora de Eletricidade (BRASIL, 2015). Essa normativa estabelece basicamente que um consumidor conectado a uma rede pública pode exportar energia de fontes renováveis, como a solar, adquirindo a capacidade de tomar posteriormente a mesma quantidade para consumo mensalmente, por até 5 anos. Ou seja, a rede de distribuição pública funciona como um sistema de armazenamento ilimitado, com intercâmbios de energia e não pecuniários. Portanto, cada kWh gerado on-site é exportado para a rede para ser posteriormente compensado com outro kWh importado de lá (Equação 1):

Balanço energético (%) = Energia gerada anualmente (MWh)/ Energia consumida anualmente (MWh) x 100 (Equação 1).

Para a tipologia de 4 pavimentos, com menor consumo simulado e com melhoria do conforto térmico e lumínico, um sistema fotovoltaico instalado na cobertura poderia produzir cerca de 85% da energia elétrica, conseguindo assim uma alta possibilidade de atingir a meta NZEB. Quando as fachadas norte, leste e oeste são utilizadas, o balanço energético

pode chegar a 100% de produção de energia em relação ao consumo para uso final reduzido (tabela 4).

Tabela 4. Balanço energético anual para menores consumos simulados

Modelo	Geração Energia (MWh/ano)	Demanda reduzida (MWh/ano)	Balanço energético (%) anual
1 - 4 PAV	233,5	233	100,37
2 - 10 PAV	449,8	1.058	42,52
3 - 15 PAV	137,9	573	24,07

Fonte: Autores.

Como resultado, observou-se que edificações do tipo Modelo 1 (4 pavimentos) são francamente favoráveis do ponto de vista de balanço energético (Tabela 4). Caso fossem implementadas as estratégias de eficiência energética, até 100% de sua demanda de energia anual poderia ser atendida por um sistema FV em cobertura. No caso do Modelo 2 (10 pavimentos), este percentual se situa no patamar de 40% e no Modelo 3 (15 pavimentos) se reduz a cerca de 25% - isso acontece pela proporção de área exposta da envoltória em relação ao volume total edificado. No caso de edificações mais altas, melhores resultados poderiam ser obtidos, a depender da orientação e isenção de sombras nas fachadas.

Diretrizes para preservação de edifícios do patrimônio moderno

A base de dados deste projeto representa um universo de cerca de 267 edificações construídas ao longo dos últimos 60 anos de existência da capital da república. Siegel (1966) apresenta um estudo analítico sobre a arquitetura moderna tendo como referência o conceito de Forma Estrutural. Para Siegel Forma Estrutural é a unidade entre arte e técnica cuja fisionomia está definida igualmente pela técnica de construção.

Ao adotar a proposta metodológica explicitada no item 3.3 é possível um olhar a partir da realidade de pensamento da década de 1960, quando a maioria dos edifícios do Setor Comercial Sul (SCS), recorte dentro da zona central, foram construídos. A estrutura visível é decomposta em trama frontal e suas terminações com o piso, cobertura e cantos. São apresentadas variações de menor expressão da forma estrutural denominadas de *curtain wall* (a parede cortina) e o que denomina de “edifício encaixotado”. Estas duas últimas são apresentadas como crítica e de menor valor arquitetônico, na acepção dos conceitos defendidos.

O tratamento da envoltória é fundamental ao se propor a requalificação com vistas à consideração da iluminação natural e da eficiência energética em edificações com valor arquitetônico a se preservar. Extrapolando a visão do Siegel em relação à parede cortina incorpora-se a pele de vidro, amplamente usada em construções nas décadas de 1990 em diante, com resultado final de visível monotonia na área central de Brasília. A Figura 5

apresenta, considerando o conceito de expressão da Forma Estrutural, uma proposta para valoração do patrimônio arquitetônico com fins de propor diretrizes quando da avaliação da necessidade de modificações nas fachadas com vistas ao *retrofit*.

Figura 5. Escala de Valoração do Patrimônio Construído no SCS - BSB.



Fonte: Autores, composição a partir Siegel,1966

A Figura 6 é um extrato para teste da metodologia aqui exposta com vistas à construção de diretrizes com vistas à intervenção na edificação com valores arquitetônicos a preservar. O confronto do diagrama da Figura 5 com a imagem da Figura 6 permite constatar os edifícios mais aderentes à valoração proposta.

Figura 6. Quadra 6 do Setor Comercial Sul, fachadas vistas do Oeste (W3 Sul).



Fonte: Composição a partir do Google - Street View, 2020

Uma análise preliminar desta amostra, harmonizada com a valoração de grau de aderência ao conceito da Forma Estrutural permite emitir algumas diretrizes gerais:

1. Edifícios com trama aparente devem ter sua característica construtiva preservada quando contarem com finalização na cobertura e na base construtivamente formuladas;
2. Edifícios encaixotados podem ter sua fachada alterada uma vez que a característica construtiva pode ser substituída sem dano estrutural ou prejuízo estético;
3. Edifícios em parede cortina podem ser passíveis de *retrofit* com a substituição completa da fachada com vistas à melhoria da condição de eficiência energética;
4. Edifícios em pele de vidro, quase padrão nos últimos 30 anos, devem seguir diretrizes de eficiência energética;

5. As diretrizes nas suas conclusões devem seguir os critérios de preservação de patrimônio moderno.
6. Obviamente o quadro apresentado é sintético e que deve considerar ainda o aspecto da linguagem expressa pela fachada. Contudo, ressalte-se que o uso amplo do vidro pode e deve ser devidamente considerado quando da análise de *retrofit*, ao passo que se a fachada é constituída de elementos estruturais não pode ser removida sem um estudo adequado de estabilidade e de avaliação patrimonial.

O estágio atual alcançado no trabalho permite algumas conclusões:

1. Análise realizada deve ser determinante para edificações com mais de 30 anos no período de maior influência modernista de Brasília;
2. A utilização da Forma Estrutural pode se constituir em análise preliminar para a decisão das características de patrimônio arquitetônico a preservar;
3. Edifícios em parede cortina ou encaixotados são mais pobres dentro do conceito da Forma Estrutural, daí a possibilidade de substituição sem perda patrimonial;
4. O método proposto possibilita a formulação futura de um indicador que englobe os conceitos de forma estrutural e eficiência energética.

Além da aplicação à toda à área do Setor Comercial Sul e posteriormente à todo Plano Piloto poderá ser realizada correlação entre as diretrizes patrimoniais e as variáveis de eficiência energética e de iluminação.

■ CONCLUSÕES

A partir do levantamento detalhado de consumo de energia e características morfológicas de 240 edifícios de escritórios na zona central de Brasília, demonstrou-se que um primeiro estudo baseado em simulações energéticas demonstrou que, para edifícios de 4, 10 e 15 pavimentos, a otimização das variáveis de Percentual de Aberturas na Fachadas (PAF), melhoria das características óticas de vidros (TL e FS) e a adição de proteções solares poderia diminuir a demanda de energia até em 37% em média, sendo factível a hipótese de alcançar o balanço energético nulo no modelo de 4 pavimentos, e em menor escala para os edifícios de 10 e 15 pavimentos.

O estudo adota Parâmetros Analíticos contemplando aspectos da composição, da caracterização dos espaços e dos materiais empregados para a intervenção no edifício, sem que se perca sua Integridade. No caso dos edifícios em estudo, serão construídas futuramente matrizes de tomada de decisão, levando em conta as variáveis mais importantes do ponto de vista da iluminação natural e eficiência energética, primeiros resultados deste

trabalho: percentual de aberturas na fachada (PAF), propriedades óticas dos vidros (FS e TL) e proteções solares, e seu impacto na integridade. A significância e a autenticidade do edifício serão o pano de fundo para a escolha das melhores intervenções.

Com essas considerações, as etapas futuras visam construir diretrizes que qualitativamente permitam decidir pela maximização da integridade do valor patrimonial, a minimização dos custos de energia, mantendo o conforto ambiental e a possível produção de energia dentro da vida útil da edificação. Essa etapa, relevante se considerarmos que os edifícios de maior significância já alcançam 50 anos, será desenvolvida por uma dissertação de mestrado com conclusão prevista para 2020.

Está em desenvolvimento um modelo de parâmetros analíticos que permitem a utilização de critérios norteadores para as intervenções em edifícios com valor histórico para o patrimônio moderno, mantendo sua Integridade e considerando os aspectos de Significância e Autenticidade. As etapas futuras visam construir diretrizes que qualitativamente permitam decidir pela maximização da integridade do valor patrimonial, a minimização dos custos de energia, mantendo o conforto ambiental e a possível produção de energia durante a vida útil da edificação.

■ AGRADECIMENTOS

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF) pelo financiamento do projeto e ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Produtividade em Pesquisa.

■ REFERÊNCIAS

1. AMORIM, C.N.D.; SÁNCHEZ, J.M.M; CRONEMBERGER. J.; COSTA, J.F.W.; SILVA, E.G. Eficiência Energética e Iluminação Natural: Critérios para Intervenção em Edifícios Modernos não Residenciais do Plano Piloto de Brasília. In: Anais do VX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. João Pessoa. 2019
2. AMORIM, C.N.D. Diagrama Morfológico Parte I – Instrumento de análise e projeto ambiental com uso de luz natural. Paranoá – Periódico do Programa de Pós Graduação, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, v.3, pp. 57-76, Brasília, 2007.
3. AMORIM, C.N.D. Iluminação natural e eficiência energética: critérios para intervenção em edifícios não residenciais modernos no Plano Piloto de Brasília. Projeto de Pesquisa. FAP-DF, Brasília, 2016
4. ACAYABA, Marlene Milan e FICHER, S.: Arquitetura moderna brasileira. São Paulo, Projeto Editores Associados, 1982
5. ANEEL. 2015. Resolução Normativa Nº 687, de 24 de novembro de 2015, Brasília.

6. BAKER, N.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K. Daylighting in Architecture. A European Reference Book. James and James Editors, London, 1998
7. BEN. Balanço Energético Nacional. MME, Brasília, 2018
8. BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria 372, de 17 de setembro de 2010. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Rio de Janeiro, 2009
9. _____. 2012. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482. s.l. : Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 17 de abril de 2012
10. _____. 2015. Resolução Normativa Nº 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015. Brasília : Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2015
11. COSTA, J. F. W.; OLIVEIRA, N. P. R. de; AMORIM, C. N. D. Morphological characteristics and energy consumption of office buildings in the central area of Brasilia. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 33., 2017, Edinburgh. Proceedings. [Edinburgh]: NCEUB, 2017. v. 2, p.2507-2514.
12. COSTA, João Francisco Walter. Edifícios de balanço energético nulo: um estudo para escritórios em Brasília. 2018. xxii, 305 f., il. Dissertação (Mestrado em em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018
13. CRONEMBERGER, Joára; Martín, Estefanía Caamaño; Sánchez, Sergio Vega (2012). Assessing the solar irradiation potential for solar photovoltaic applications in buildings at low latitudes – Making the case for Brazil. Energy and Buildings 55, 264 - 272
14. FONTOYNONT, M. (Ed.). Daylighting Performance in Buildings. James and James, London, 1999
15. IEA, SHC Task 50. Monitoring protocol for lighting and daylighting *retrofit*, Technical Report - T50.D3, 2014
16. LIMA, T. B. S. Qualidade Ambiental e Arquitetônica em edifícios de escritórios. Diretrizes para projetos em Brasília. Tese (Arquitetura e Urbanismo) Universidade de Brasília, 2010
17. MPOG/SLTI. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instrução Normativa Nº02-de 4 de junho de 2014. SLTI/2014.
18. RÜTHER, R; ZILLES, R. (2011). Making the case for grid-connected photovoltaics in Brazil. Energy Policy, Vol. 39, Is. 3 , 1027-1030. 9th International Radiance Workshop; September 20-21, 2010
19. SIEGEL, Curt. Formas estructurales en la arquitectura moderna. México: Continental, 1966.
20. SILVA, J.S. A eficiência do brisesoleil em edifícios públicos de escritórios: estudo de casos no Plano Piloto de Brasília. 2007. Dissertação (Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília.
21. SILVA, E. G.. Nações Unidas e Congresso Nacional: conexões e preservação. 2017. 244 f., il. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2017
22. SILVA, Paula. Maciel. Conservar, uma questão de decisão: o julgamento na conservação da arquitetura moderna. 2012. 236 f. Tese (Doutorado em Arquitetura). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE. 2012.

23. WILSON, Alex; MALIN, Nadav. Establishing Priorities with Green Buildings. European Directory of Sustainable and Energy Efficient Buildings. Components, Services and Materials. Ed. James and James, London, 1997. pp.39-42