



RAPHAELLA DIAS

# A IMPORTÂNCIA DA INSERÇÃO DE PARÂMETROS URBANÍSTICOS NA DEFINIÇÃO DE ARQUÉTIPOS ENERGÉTICOS

TATIANA PAULA ALVES\*

LUIZ MACHADO\*\*

ROBERTA VIEIRA GONÇALVES DE SOUZA\*\*\*

**RESUMO** Compreender as interações energéticas do edifício é essencial para propor melhorias para o seu desempenho. O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia para identificar e estimar os padrões de consumo de energia de uma tipologia específica de edifícios tendo como ponto de partida a investigação das regulações urbanísticas, os dados do Imposto Territorial Urbano e as pesquisas de campo. Um estudo de caso foi realizado para Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. Três tipologias representativas dos edifícios comerciais foram identificadas. Para cada tipologia, arquétipos energéticos foram modelados a fim de estimar suas intensidades de consumo energético. Os resultados apresentam diferenças significativas entre os arquétipos, exemplificando o impacto das escolhas técnicas no consumo de energia e evidenciando uma tendência em novos edifícios de crescimento do consumo de energia.

**PALAVRAS-CHAVE** Modelagem energética de arquétipos. Simulação termoenergética. Linha base de consumo de energia.

## THE IMPORTANCE OF URBAN PARAMETERS IN ENERGY ARCHETYPE MODELING

**ABSTRACT** Better understanding of building interactions is a key to improve building energy performance. This study develops a framework to estimate the Energy Use Intensity (EUI) baseline of an existing building stock category based on the investigation of land use legislations, a land tax database and field surveys. A case study of the high-rise commercial building stock took place in the city of Belo Horizonte, Brazil. Three representative typologies were identified. For each of these, archetype energy models were modeled in order to assess EUI. The analysis of the EUI baselines highlights differences between archetypes, explaining the impact of technical choices on the overall electricity consumption and indicating a growth tendency of energy consumption for forthcoming buildings.

**KEYWORDS** Building stock energy modelling. Building energy performance simulation. Energy use baseline.

\* Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica (PPGMEC), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) - alvestianapaula@gmail.com

\*\* Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica (PPGMEC), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) - luizm@demec.ufmg.br

\*\*\* Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética em Edificações (LABCON), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) - robertavgs2@gmail.com

## Introdução

A intensificação da urbanização e da industrialização que se deu nas últimas décadas tem requerido produtos industriais e serviços que dependem cada vez mais de energia, indicando um cenário de crescimento no consumo de eletricidade (UNITED NATIONS, 2014).

O setor de edificações está entre os maiores consumidores de energia elétrica no Brasil. Segundo o Balanço Energético Nacional, a participação do setor de edificações (residencial, comercial e público) no consumo geral de energia elétrica no Brasil é de aproximadamente 50%, parcela significativa a ser considerada nos programas que visam à conservação de energia (BRASIL, 2019).

Neste contexto, o desenvolvimento de políticas energéticas constitui um importante meio de promoção da eficiência energética em edificações. No entanto, em âmbito mundial, os instrumentos regulatórios dessas políticas encontram-se focados no desenvolvimento de padrões de eficiência energética para novos edifícios, em detrimento de políticas destinadas à eficiência energética de edificações existentes. Essa situação começa a mudar principalmente em contextos em que a consolidação dos processos de industrialização e de urbanização indica um elevado estoque de edifícios tecnologicamente ultrapassados e com um elevado potencial de redução de consumo de energia elétrica por meio de ações de *retrofitting* (WAIDE; AMANN; HINGE, 2007).

No Brasil, os primeiros passos em direção à eficiência energética de edifícios foram dados em 2001 com a promulgação da Lei 10.295 – Lei de Eficiência Energética –, que estabeleceu os princípios básicos para a política nacional de conservação de energia. Em 2009, foram publicados os Regulamentos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C, que estabeleciam critérios para a etiquetagem de edificações, reforçando, assim, as ações governamentais em prol da eficiência do uso da energia (BRASIL, 2010). No entanto, cabe pontuar a inexistência de instrumentos regulatórios focados no consumo de energia de edificações existentes.

Compreender o comportamento energético e o padrão de consumo de energia dos edifícios é essencial para que sejam desenvolvidas estratégias e técnicas para a melhoria do desempenho energético e ambiental do estoque de edifícios existentes (GONÇALVES; BODE, 2015). No centro da discussão, existem dois tópicos importantes: a modelagem de uma linha base de consumo de energia representativa dos padrões de consumo energético e a modernização do estoque de edifícios existentes.

Entre as diversas técnicas de modelagem de consumo energético de estoque de edifícios relatadas em estudos recentes, a que melhor se aproxima dos objetivos dessa abordagem é a chamada modelagem por meio de construção de arquétipo (CAPUTO; COSTA; FERRARI, 2013). Essa técnica agrupa o estoque de edifícios existentes segundo critérios definidos, tais como idade, tamanho, uso, atributos físicos, e utiliza esses critérios para definir arquétipos energéticos representativos dos padrões de consumo desses edifícios. Os arquétipos são, então, utilizados para escalonamento dos consumos energéticos em níveis urbanos com base no peso de sua representatividade no estoque de edifícios existentes. São dois os principais benefícios da utilização da técnica de construção de arquétipos: a capacidade de estimar o consumo de energia sem precisar contar com dados históricos de consumo dos edifícios e a capacidade de avaliar o impacto de ações futuras de *retrofit* nesse consumo de energia (SWAN; UGURSAL, 2009). Exemplos da aplicação dessa técnica podem ser vistos nos estudos de Ballarini, Corgnati e Corrado (2014) e Heeren et al. (2013), assim como no trabalho de revisão bibliográfica apresentado por Reinhart e Cerezo Davila (2016).

No que diz respeito ao contexto brasileiro, ainda são poucos os trabalhos de modelagem energética de estoque de edifícios existentes, o que pode ser explicado pela falta de conhecimento dos padrões de consumo de energia dos edifícios ou da pouca disponibilidade de acesso a dados de consumo de energia. Poucos estudos foram realizados para superar essas dificuldades, sendo importante citar Borgstein e Lamberts (2014), que coletaram dados do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) para propor e testar uma metodologia para o desenvolvimento de modelos de referência para o consumo de energia de agências bancárias no Brasil; Melo et al. (2014), que investigaram a aplicabilidade de redes neurais (RNAs) como uma técnica de modelagem para melhorar a precisão dos modelos prescritivos propostos no programa de etiquetagem, e Veloso, Souza e Koury (2017), que analisaram a influência das estratégias

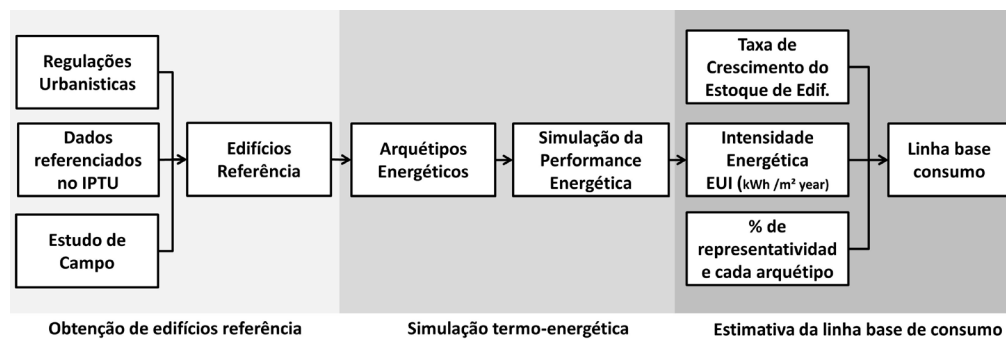
projetuais no consumo de energia de edifícios não residenciais na cidade de Belo Horizonte tendo como comparação dados reais de consumo.

Ainda assim, os estudos evidenciam a ausência de dados construtivos e de consumo do estoque de edifícios no Brasil, demonstrando a necessidade de novos estudos e informações nessa área. Com base nessas considerações, o objetivo central deste trabalho foi desenvolver uma metodologia para identificar e estimar os padrões de consumo de energia de uma tipologia específica de edifícios existentes. Um estudo de caso foi realizado na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, a fim de identificar as intensidades energéticas e estimar a linha base de consumo de energia elétrica dos edifícios comerciais de grande porte da cidade. A escolha da cidade de Belo Horizonte apoia-se na importância socioeconômica da cidade no contexto mineiro e nacional e na existência de dados confiáveis do setor de edificações necessários ao desenvolvimento desta pesquisa.

## 1 Metodologia

A metodologia proposta para identificar as intensidades energéticas e estimar a linha base de consumo de energia de uma tipologia específica de edifícios existentes pode ser visualizada na Figura 1. No fluxograma, as regulações urbanísticas, o banco de dados referenciado em registros do Imposto Predial e Territorial Urbano – IPTU e o estudo de campo são os dados de entrada para a construção de edifícios-referência que darão origem aos arquétipos energéticos utilizados para modelagem da linha base de consumo de energia.

Figura 1 – Fluxograma do procedimento metodológico proposto



Fonte: Elaborada pelos autores.

## 1.1 Estudo de Caso: procedimento de modelagem do estoque de edifícios

Primeiramente, as legislações urbanísticas da cidade foram investigadas com o intuito de estabelecer uma relação entre os parâmetros urbanísticos vigentes ao longo da história da cidade, as tipologias dos edifícios verticais de grande porte existentes e a sua localização na malha urbana. Essa primeira fase do estudo definiu três momentos significativos de mudança nos parâmetros urbanísticos, gerando uma classificação do estoque de edifícios comerciais de grande porte em três categorias denominadas Classe I, Classe II e Classe III.

Em um segundo momento, o banco de dados fornecido pela Secretaria Municipal Adjunta de Planejamento Urbano – SMAPU/PBH, com base em registros do Imposto Predial e Territorial Urbano – IPTU, foi utilizado para coletar informações básicas dos edifícios comerciais de grande porte da cidade de Belo Horizonte. As características utilizadas para descrever o estoque foram ano de construção, localização, área construída, altura estimada e quantidade de índices cadastrais associados ao mesmo endereço, que, nesse caso específico, fornecem evidências se o edifício tem características associadas a escritórios compartimentados ou pavimentos corridos. A análise do banco de dados SMAPU/PBH resultou na identificação de 298 prédios comerciais de grande porte para serem estudados na pesquisa de campo.

Em um terceiro momento, um estudo de campo foi realizado com a finalidade de identificar características físicas da edificação, do seu entorno, bem como dos sistemas de engenharia complementar (iluminação e condicionamento ambiental). O estudo de campo realizado consta de três etapas: (1) coleta e análise de dados utilizando o Diagrama Morfológico Adaptado (DMA), (2) visita *in loco* e (3) investigação das distribuições internas dos pavimentos tipo de edifícios comerciais de grande porte da cidade.

O endereço relatado na base de dados da SMAPU/BH foi o ponto de partida para a localização dos edifícios na malha urbana da cidade. Os edifícios foram identificados utilizando a ferramenta Google Earth®, e suas imagens, capturadas por meio do recurso Street View para análise no DMA. A Figura 2 apresenta um exemplo de imagens capturadas para análise dos parâmetros listados no DMA.

Figura 2 - Edifício Contorno Plaza, imagens capturadas para análise no DMA



Fonte: Google Earth/Street View. Acesso em 23 set. 2016.

Com os dados obtidos, a ferramenta desenvolvida por Backer, Fanchiotti e Steemers (2013) e adaptada por Amorim (2007), chamada de Diagrama Morfológico, foi utilizada para agrupar elementos tipológicos recorrentes e impactantes no conforto ambiental e eficiência energética das edificações. Nesta pesquisa, o Diagrama Morfológico originalmente proposto por Amorim (2007) foi adaptado e denominado de Diagrama Morfológico Adaptado (DMA). O DMA elaborado apresenta informações categorizadas em parâmetros urbanos e prediais. Os parâmetros urbanos analisados foram largura viária e ângulo de céu visível. Ambos os parâmetros estão relacionados ao acesso à radiação solar e, conseqüentemente, ao conforto térmico. Os parâmetros de construção analisados foram refletância de fachadas com base no padrão de cores, orientação do edifício, altura do edifício, forma do edifício, percentual de aberturas na fachada (WWR), controle solar e sistemas de condicionamento térmico.

O segundo passo do levantamento de campo foi a visita realizada em 12 edifícios participantes da amostra e representativos da tipologia predominante identificada na primeira fase do levantamento de campo (edifício Classe 2). Foram visitados 60 ambientes e coletadas informações relacionadas à iluminação artificial, ao condicionamento ambiental e a rotinas de uso de ambos os sistemas.

Completando o levantamento de campo, foram analisados, em termos de distribuição espacial interna, 19 pavimentos, tipo de edificações participantes da amostra. As proporcionalidades de área foram estabelecidas tendo como referência os usos: circulação vertical (escadas e elevadores) e horizontal, apoio técnico (depósitos, *shafts*, áreas técnicas etc.) e espaços de trabalho. As sínteses das informações foram utilizadas para construção das proporcionalidades de áreas dos protótipos utilizados para as simulações energéticas.

## 1.2 A caracterização dos arquétipos e o procedimento de simulação

As informações sintetizadas das regulações urbanísticas, do banco de dados SMAPU/PBH e da pesquisa de campo foram usadas para descrever os atributos predominantes para as três tipologias representativas de edifícios comerciais de grande porte da cidade (Edifícios Classe I, Classe II e Classe III). Para cada classe, foram modelados arquétipos energéticos. O programa utilizado para as simulações termoeenergéticas foi o *EnergyPlus V 8.1* (US, 2015). As simulações foram realizadas em base anual (8.760 horas) utilizando o arquivo climático TRY (*Test Reference Year*) para a cidade de Belo Horizonte, disponível no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES, 2016).

As informações necessárias à caracterização energética dos arquétipos foram subdivididas em quatro categorias: edifício, envoltórias, sistemas prediais e padrões de uso e ocupação. Os parâmetros relacionados às características físicas dos arquétipos foram baseados em informações do banco de dados SMAPU/PBH e do levantamento de campo. Informações específicas das envoltórias, tais como valores de transmitância térmica (U), absortâncias e fator solar (FS), foram obtidas em normas brasileiras, catálogos técnicos e guias referenciais na área de eficiência energética e foram referenciados no padrão construtivo predominante no mercado da construção civil brasileiro. Características dos sistemas prediais, bem como de suas rotinas, foram obtidas por meio do levantamento de campo e de guias internacionais, tais como American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineering – ASHRAE/2010 e Chartered Institution of Building Services Engineers – CIBSE/2004. Observa-se, ainda, que a densidade de potência adotada para a iluminação e o COP dos sistemas de condicionamento ambiental referenciam as classes de eficiência do RTQ-C e foram estipulados tomando como base a potência das lâmpadas e os tipos de equipamentos de condicionamento encontrados durante o levantamento de campo.

Neste trabalho, optou-se por simular exclusivamente a torre principal dos arquétipos. Para descrição detalhada das interações energéticas dos arquétipos, dividiu-se a torre de escritórios em três tipos de pavimentos de referência: pavimento piloto, pavimento intermediário e pavimento de cobertura. Quatro conjuntos de simulações



foram executados para cada arquétipo, considerando a malha urbana da cidade (15°, 105°, 195°, 285°). Os resultados obtidos de EUI para os arquétipos foram apresentados em termos dos valores médios obtidos, dividindo a soma dos valores observados pelo número de simulações realizadas.

Entre as características determinantes da simulação dos arquétipos, está a da ventilação híbrida (ventilação natural e condicionamento de ar janela/split). A simulação da ventilação natural foi realizada no *EnergyPlus* por meio do *Airflow Network, Multi-zona*, sendo os coeficientes de pressão do vento calculados pelo próprio software. As aberturas das janelas são controladas pela temperatura, ou seja, quando a temperatura do ar do ambiente é igual ou superior à temperatura do termostato e quando a temperatura do ar do ambiente é superior a temperatura externa, as janelas são acionadas. A temperatura de termostato utilizada foi de 20°C, valor referenciado no RTQ-R (BRASIL, 2012). Os coeficientes e expoentes de fluxo de ar para as aberturas são mostrados no Quadro 1.

Quadro 1 - Parâmetros utilizados na simulação da ventilação natural

Componente	Janela pivotante de metal, eixo vertical, com vedação.	Porta interna de madeira, 1 folha pivotante
Coefficiente Fluxo de ar porta fechada (kg/sm)	0.00041	0.00204
Expoente de fluxo de ar porta fechada (adimensional)	0.66	0.59
Coefficiente de Descarga para abertura Fator 2 (adimensional)	0.6	0.65

Fonte: LIDDAMENT (1986) – Adaptada pelos autores.

De modo a estabelecer uma rotina de ventilação natural, foi criada uma rotina de controle baseada no modelo adaptativo de conforto térmico ASHRAE Standard 55 (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERING, 2004). Para as horas de operação do edifício em que os valores provenientes da simulação se encontravam dentro dos limites de aceitabilidade de 90%, foi possível a ventilação natural, caso contrário, o sistema de ar condicionado seria acionado. Com base nessas informações, foram montados os *schedules* de funcionamento da ventilação natural e do condicionamento artificial. Foram adotados *schedules* em base horária para as 8.760 horas do ano. Os *schedules* de ventilação natural indicam, em cada hora, o valor correspondente a 0 (zero) ou 1 (um). O valor 0 (zero) significa que não há ventilação natural ocorrendo, e o valor 1 (um), que a ventilação natural está sendo possível. Os *schedules* do ar condicionado apresentam rotinas opostas à da ventilação natural.

### 1.3 Validação do arquétipo energético

No contexto deste estudo, não existiam dados de consumo de eletricidade disponíveis dos edifícios estudados e, portanto, a validação empírica não foi possível. Em relação a estudos semelhantes, o realizado pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) e denominado *Benchmarking* de escritórios corporativos (CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS, 2015) foi utilizado para estabelecer uma comparação com os resultados de EUI obtidos na simulação dos arquétipos energéticos. No entanto, pelas características do *Benchmarking* (edifícios com centrais de ar condicionado), foi possível validar apenas o arquétipo energético Classe III. A diferença de EUI entre o valor padrão obtido no *Benchmarking* e o arquétipo Classe III desenvolvido foi da ordem de 1,2%, indicando a validade da modelagem energética desenvolvida. Vale ainda observar que, devido à impossibilidade de acesso aos dados reais de consumo de energia elétrica do estoque de edifícios existentes, não se estabeleceu comparação da linha base de consumo de energia elétrica desenvolvida neste estudo.

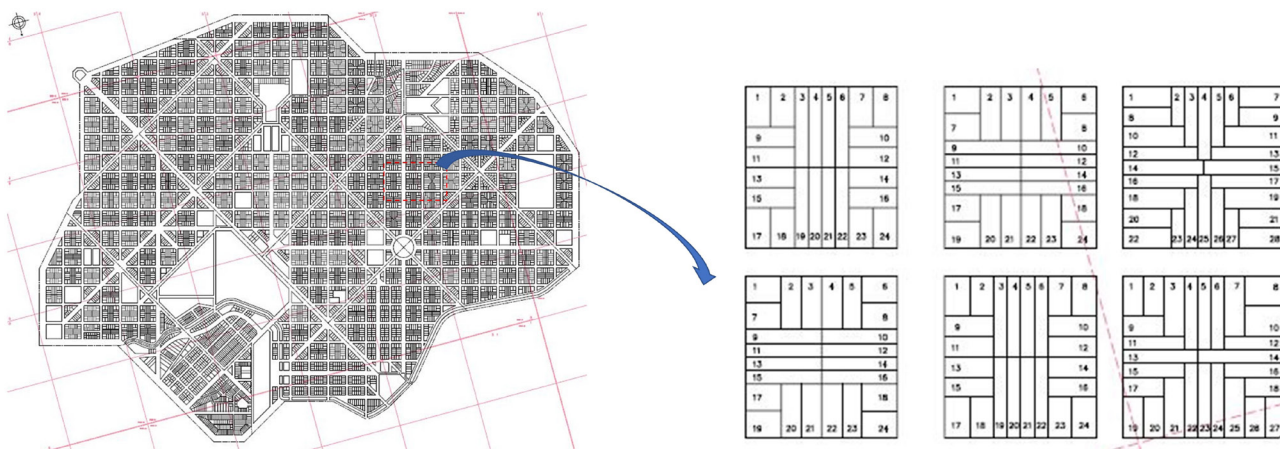
## 2 Resultados e discussão

### 2.1 A evolução dos edifícios comerciais de Belo Horizonte segundo as regulações urbanística e construtiva da cidade

A cidade de Belo Horizonte foi fundada em 1897 para ser a sede política e administrativa do Estado de Minas Gerais, Brasil. O plano original dividia a cidade em três zonas (urbana, suburbana e rural) e estabelecia uma malha racional e ortogonal para a zona urbana delimitada pela Avenida do Contorno, como mostra a Figura 3. A malha original apresenta ângulo de 15° em relação ao Norte e é composta basicamente de três formas geométricas, todas elas oriundas do traçado ortogonal: 120x120m (a mais comum), 120x60m e a forma triangular nascida das inserções de avenidas diagonais sobrepostas à malha ortogonal (NORONHA, 1999).

Em Belo Horizonte, os edifícios comerciais de grande porte efetivamente surgiram em meados da década de 1940, fruto da combinação de dois fatores: a legislação que incentivava a verticalização e o acesso aos avanços tecnológicos da construção civil.

Figura 3 – Traçado urbano original da cidade e suas subdivisões em lotes



Fonte: Base de dados digital PBH (PBH, 2019) – elaborada pelos autores.

Analisando edifícios comerciais de grande porte, três momentos se destacam no que diz respeito às legislações de uso do solo e construtivas que influenciaram a tipologia e a distribuição dos edifícios na cidade. Os três momentos identificados são: (1) o Decreto nº 165 de 1933 e o Código de Obras de 1940, (2) a Lei de Uso e Ocupação do Solo – LUOS de 1976 e (3) a LUOS de 1996.

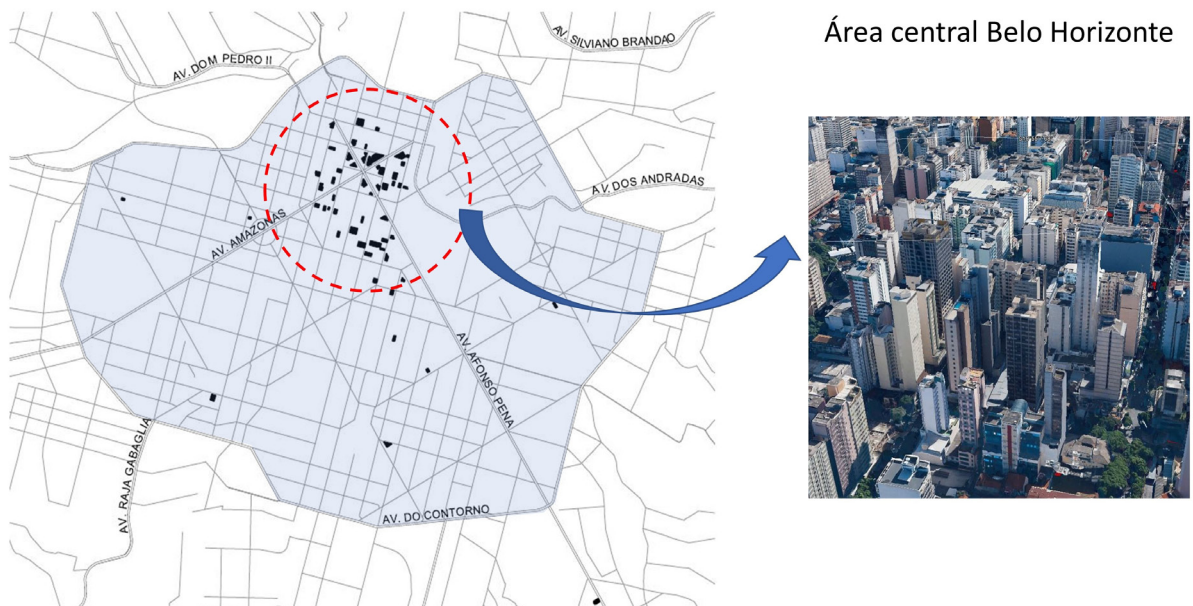
O Decreto nº 165 de 1933 (BELO HORIZONTE, 1933) modificou o Regulamento Geral de Construções em Belo Horizonte suprimindo as exigências de afastamentos laterais e de fundo para a zona comercial da cidade, permitindo, assim, que as construções se verticalizassem até as divisas. A área comercial da cidade passou, assim, a ser destinada à verticalização e, juntamente com esse processo, a região transformou-se em um polo atrativo de comércio e serviços de toda a cidade.

O Código de Obras de 1940 (BELO HORIZONTE, 1940) estabeleceu as normas e as condições para execução, por agente particular ou público, de toda e qualquer construção, modificação ou demolição de edificações na cidade. Entre as regras estabelecidas quanto a conforto ambiental, duas chamam a atenção por interferirem em características tipológicas dos edifícios. A ventilação e a iluminação natural passaram a ser requeridas em todos os cômodos de permanência prolongada, sendo estabelecidas por meio de uma relação entre tamanho da abertura e área do cômodo. No caso específico da iluminação, o Código de Obras limita a profundidade dos ambientes, uma vez que exige que nenhum ponto do compartimento diste do vão de iluminação, livre de obstáculos, mais que duas vezes e meia o seu pé-direito. A possibilidade de se construir

até a divisa na região comercial central da cidade combinada com o requerimento de iluminação natural do Código de Obras favoreceu o surgimento de edificações com pátios internos destinados à iluminação e conseqüentemente à utilização de formas construtivas em “C”, “E” e “H”.

As décadas de 1950, 1960 e 1970 foram marcadas por um crescimento acentuado da população e, conseqüentemente, densificação e verticalização da zona comercial central da cidade em resposta às regulações urbanísticas da época. A Figura 3 ilustra, no contexto da cidade, a localização dos edifícios comerciais de grande porte com datas de construção referenciadas nas décadas de 40, 50, 60 e 70.

**Figura 4** – Imagem ilustrativa do estoque de edifícios comerciais de grande porte com datas de construção referenciadas nas décadas de 40, 50, 60 e 70



Área central Belo Horizonte

Fonte: Base de dados digital PBH (PBH, 2019) – elaborada pelos autores.

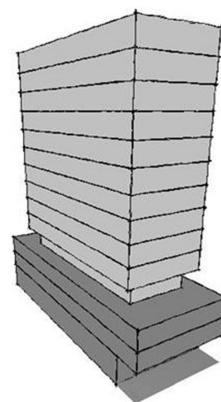
A LUOS de 1976 (BELO HORIZONTE, 1976) representou o estabelecimento de um conjunto de regras para uma ocupação bastante controlada do espaço físico. Assim, os usos permitidos eram definidos pelas zonas (residencial, comercial, industrial e institucional), e a ocupação, por modelos de assentamento. Em um cruzamento dessas informações, chegava-se a um conjunto de parâmetros urbanísticos para o terreno. Entre os parâmetros estabelecidos, três se destacam por impactar a tipologia e o conforto ambiental dos edifícios: o coeficiente de aproveitamento (CA), a taxa de ocupação

(TO) e os afastamentos frontais, laterais e de fundo. O coeficiente CA diz respeito ao potencial construtivo do terreno; em outras palavras, sua capacidade de verticalização. A taxa de ocupação é a relação percentual entre a projeção da edificação e a área do terreno. Os afastamentos (frontal, lateral e fundo) dizem respeito à menor distância permitida entre a edificação e o alinhamento de divisa. A Figura 5 exemplifica, em termos de volumetria, o que poderia ser construído seguindo os parâmetros estipulados pela legislação para zona comercial denominada de ZC6 segundo a LUOS/76.

**Figura 5** – Parâmetros urbanísticos e volumetria possível dos edifícios verticais segundo a LUOS/76, considerando terreno do parcelamento original da região (15x40m)

<b>Coeficiente de Aproveitamento (CA)</b>		8.0
<b>Taxa de Ocupação</b>	Térreo, 2º, 3º	100%
	Demais pavimentos	50%
<b>Afastamento lateral</b>	Fachadas cegas	0
	Fachadas com aberturas	1.5
<b>Afastamento fundo</b>	Acima do 3º piso	5.0
<b>Afastamento frontal</b>	Térreo	4.0
	Pavimento 2º, 3º	0
	Demais pavimentos	4.0

1	2	3	4	5	6	7	8
9							10
11							12
13							14
15							16
17	18	19	20	21	22	23	24



Fonte: LUOS/76 – Elaborada pelos autores.

Levando em consideração os parâmetros descritos, é importante perceber que são capazes de impactar o desenho do cânion urbano e, conseqüentemente, o acesso dos edifícios à ventilação e à iluminação natural. Como consequência da LUOS/76, podemos ainda identificar a descentralização das edificações comerciais de grande porte. A LUOS/76 favorece o surgimento de edifícios comerciais de grande porte ao longo das principais avenidas de acesso aos bairros e periferias, como pode ser visualizado na Figura 6. A LUOS/76 foi revisada em 1985, mas os parâmetros urbanísticos relacionados ao uso comercial na região central e nos principais eixos viários permaneceram inalterados.

A Lei de Uso e Ocupação de 1996 – LUOS/96 (BELO HORIZONTE, 1996) – redefiniu todo o zoneamento de acordo com o potencial de adensamento, dado pela disponibilidade de infraestrutura instalada, pela qualidade do sistema de circulação viária e pelas demandas de preservação ambiental, histórica, cultural, arqueológica ou paisagística de cada área. Em termos dos parâmetros urbanísticos que interferem

em questões de conforto ambiental, observou-se a diminuição do coeficiente CA, o que indica um esforço de diminuir o adensamento de algumas regiões comerciais e o atrelamento dos afastamentos (laterais e de fundo) à altura das edificações, indicando uma intenção de preservar o acesso à luz e à ventilação natural. A Figura 7 exemplifica, em termos de volumetria, o que poderia ser construído seguindo os parâmetros estipulados pela legislação para zona comercial denominada de ZCBH, segundo a LUOS/96.

De modo geral, a LUOS/96 manteve o centro tradicional como núcleo principal de concentração de estabelecimentos de comércio e serviços e reforçou a irradiação dessas atividades ao longo das principais vias consolidando centralidades lineares. A LUOS/96 foi revisada em 2000, mas os parâmetros urbanísticos relacionados ao uso comercial na região central e nos principais eixos viários permaneceram inalterados.

Em 2010, a legislação foi revisada novamente. As mudanças mais significativas

Figura 6 - Localização dos edifícios comerciais de grande porte das décadas de 80 e 90 na malha urbana atual da cidade



Fonte: Base de dados digital PBH (PBH, 2019) – elaborada pelos autores.

Figura 7 – Parâmetros urbanísticos e volumetria possível dos edifícios verticais segundo a LUOS/96, considerando terreno do parcelamento original da região

**Coefficiente de Aproveitamento (CA)** 3.0

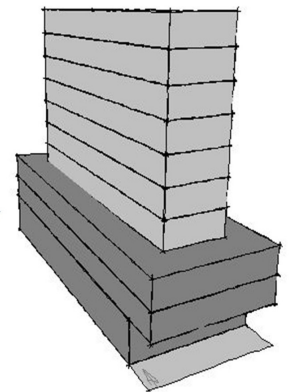
**Taxa de Ocupação** -

**Afastamento lateral e Fundo**  $2.30 + \frac{H + 12.00}{b}$  (Equação 01)

Sendo H = altura do edifício e b coeficiente definido como 10 para área central e 4 para as demais áreas

**Afastamento frontal** Relação com rua, sendo 4m para ruas coletoras e arteriais e 3m para locais

1	2	3	4	5	6	7	8
9							10
11							12
13							14
15							16
17	18	19	20	21	22	23	24



Fonte: LUOS/96 – Elaborada pelos autores.

foram relativas à redução do potencial construtivo e à mudança na forma de cálculo da área construída das edificações inserindo regras mais restritivas ao aproveitamento do potencial construtivo dos terrenos. Em média, o potencial construtivo dos terrenos da cidade foi diminuído 10%.

Resumindo a linha do tempo das regulações urbanísticas em Belo Horizonte, foram observados dois momentos de inflexão capazes de influenciar as tipologias e a distribuição dos edifícios pela cidade: a introdução da LUOS/76 e da LUOS/96. As mudanças promovidas pela LUOS/76 e LUOS/96 na volumetria dos edifícios e sua distribuição na cidade, que levaram a diferentes contextos de entorno, foram os pontos de partida para propor a classificação dos edifícios em Classe I, Classe II e Classe III. Os identificados como Classe I estão relacionados a edifícios das décadas de 40, 50, 60 e 70; a Classe II está relacionada a edifícios das décadas de 80 e 90, e a Classe III está relacionada a edifícios construídos a partir do ano 2000.

## *2.2 A representatividade das tipologias e suas características predominantes*

Segundo o banco de dados do SMAPU/PBH, a cidade de Belo Horizonte registra em sua malha edificada aproximadamente 4.577.000 m<sup>2</sup> associados a edifícios comerciais. Desse total, cerca de 55% estão relacionados a edificações verticais de grande porte definido nesta pesquisa como edifícios acima de 10 pavimentos.

Considerando a classificação proposta para este estudo (Classe I, II e III), o banco de dados do SMAPU/PBH indica, no contexto da cidade, a prevalência dos edifícios Classe II (52%) seguidos por edifícios Classe I (27%) e Classe III (21%). O banco de dados indica, ainda, que os edifícios Classe I e II são constituídos por salas com metragens inferiores a 50m<sup>2</sup>, enquanto os edifícios Classe III são constituídos por salas com metragens superiores a 200m<sup>2</sup>, o que atribui aos edifícios Classe I e II a característica de edifícios compartimentados e aos Edifícios Classe III a característica de edifícios de planta aberta.

A Tabela 1 apresenta as informações sintetizadas com base nas análises do Diagrama Morfológico Adaptado – DMA.

Tabela 1 Características predominantes dos edifícios Classe I, II e III

	Classe I	Classe II	Classe III
Largura Viária	Entre 10 e 20 m	Entre 10 e 20 m	Entre 10 e 20 m
Ângulo de Visão de Céu	Até 30°	Entre 30° e 60°	Entre 30° e 60°
Refletâncias de Fachada	Cores claras	Frontal heterogênea, demais cores claras	Frontal heterogênea, demais cores claras
Orientação Solar - Fachadas	Sem orientação prevalente	Sem orientação prevalente	Sem orientação prevalente
Número de Pavimentos	15 andares	15 andares	13 andares
Forma do edifício	Retangular/com pátio interno de iluminação	Retangular	Retangular
Percentual de aberturas na fachada	Frente	50%	50%
	Laterais	Cega	50%
	Fundo	50%	50%
Cor dos vidros	Transparente	Fumê	Verde
Controle Solar	Cortinas/venezianas	Cortinas/venezianas	Cortinas/Venezianas
Condicionamento Térmico	Ar janela ou split	Ar janela ou split	Ar janela ou split / ar condicionado central

Fonte: LUOS/96 – Elaborada pelos autores.

Os ângulos de visão de céu até 30° para edifícios Classe I indicam que o entorno tem alturas similares ao do edifício estudado, enquanto ângulos de visão de céu entre 30° e 60° indicam um entorno com alturas inferiores. Observa-se que as características do entorno dos edifícios Classe I refletem a localização deles em uma região cuja verticalização foi incentivada ao longo da história pelas regulações urbanísticas.

Outro ponto de destaque na amostra coletada relaciona-se à prevalência de edifícios retangulares. A recorrência da forma retangular na amostra de edifícios pode ser observada como resultado da divisão fundiária original ainda presente na malha urbana da cidade e indica que o processo de verticalização se deu em substituição a imóveis antigos em um contexto urbano consolidado.

Outro elemento de destaque relaciona-se aos sistemas de condicionamento térmico. Os sistemas de condicionamento ambiental que utilizam o ar condicionado de janela ou *split* predominam nas três classes de edifícios. Nos edifícios Classe I, eles representam 92% do total da amostra, seguidos pelos edifícios Classe II, com 84%, pelos edifícios Classe III, com 60%. No entanto, chama a atenção o acentuado crescimento no uso de sistemas de condicionamento central nos edifícios Classe III. Os edifícios



climatizados por sistemas centrais representam 40% do total da amostra dos edifícios dessa classe. A presença do condicionamento de ar central aliado a ambientes com grandes metragens nos edifícios Classe III mostra uma tendência de modificação na concepção dos edifícios comerciais de grande porte da cidade, que passaram de edifícios compartimentados (andares divididos em pequenas salas) para edifícios tipo planta aberta.

Dando continuidade ao estudo de campo, as visitas *in loco* realizadas em edifícios Classe I e II indicam a predominância de iluminação tubular fluorescente. Observa-se que 7% das salas utilizam lâmpadas Led, 15%, lâmpadas fluorescentes compactas, e 78%, lâmpadas fluorescentes tubulares. Entre as lâmpadas fluorescentes tubulares, predominam as lâmpadas de 40/20W, com 62% do total, seguidas pelas 32/16W, com 30%, e pelas 28/14W, com 8%. Outro dado registrado é que, em 47% dos ambientes, não existem subdivisões da iluminação da sala em circuitos, e o acendimento é realizado de forma total em um único interruptor localizado junto à porta de entrada da sala. Nos 53% restantes dos ambientes que apresentam subdivisões em circuitos, estes não foram identificados como elementos de integração com a iluminação natural.

As informações de condicionamento ambiental registradas no levantamento *in loco* indicam a predominância do sistema híbrido (ventilação natural/ar condicionado de janela ou split). Entre os sistemas de condicionamento, o ar condicionado de janela representa 58% do total, seguido por equipamentos split com 25%. As classes de eficiência energética indicam a predominância de equipamentos Classes B (ar condicionado janela) e C (split). O levantamento indica, ainda, que, em 82% dos ambientes que utilizam condicionamento de ar, o equipamento só é ligado ao longo do ano quando o usuário sente necessidade de resfriar o ambiente de trabalho, evidenciando, assim, uma rotina híbrida de condicionamento ambiental.

Finalizando o levantamento de campo, as proporcionalidades das áreas internas do pavimento tipo indicam que, em média, 80% do pavimento é dedicado ao uso como área de trabalho, 15%, como circulação horizontal e vertical, e 5% funcionam como áreas de apoio.

## 2.3 Os arquétipos energéticos das tipologias Classe I, II e III e as simulações termoenergéticas

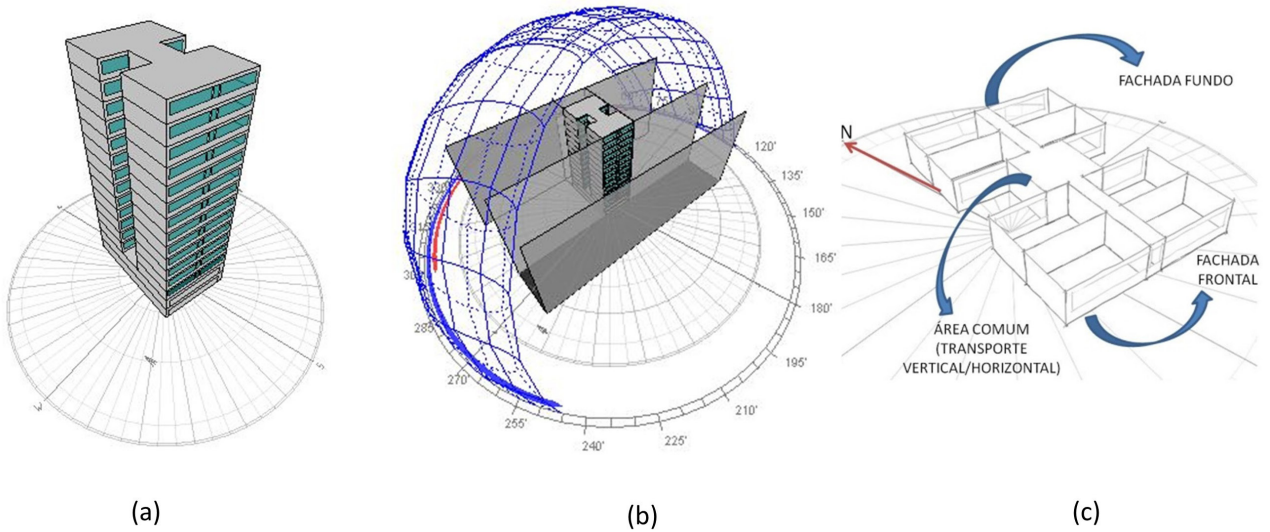
Tabela 2 - Parâmetros de desempenho termoenergético dos arquétipos Classe I, II e III

	Arquétipo Classe I	Classe II	Classe III
<b>Característica Interna</b>	compartmentado	compartmentado	Planta aberta
<b>Forma</b>	Retangular com pátio interno	Retangular	Retangular
<b>Número de pavimentos</b>	15 pavimentos	15 pavimentos	13 pavimentos
<b>Altura do entorno</b>	Alto	Médio	Médio
<b>% janela frente e fundo (WWR)</b>	50%	50%	50%
<b>% janelas laterais (WWR)</b>	0% - cega	25%	50%
<b>Cor do vidro</b>	Transparente	Fumê	Verde
<b>Espessura do vidro</b>	6mm	6mm	6mm
<b>FS</b>	0.72	0.52	0.45
<b>Transmitância U - paredes externas (W/m<sup>2</sup>.k)</b>	1.98	1.98	1.98
<b>Transmitância U paredes internas (W/m<sup>2</sup>.k)</b>	2.59	2.59	2.59
<b>Transmitância U cobertura (W/m<sup>2</sup>.k)</b>	2.06	2.06	2.06
<b>Absortância paredes (<math>\alpha</math>)</b>	0.40	0.40	0.40
<b>Absortância cobertura (<math>\alpha</math>)</b>	0.40	0.40	0.40
<b>Iluminância de serviço (lux)</b>	500	500	500
<b>Densidade de potência de instalada (DPI)</b>	19.04	19.04	12.0
<b>Iluminação (W/ m<sup>2</sup>)</b>			
<b>DPI equipamentos (W/ m<sup>2</sup>)</b>	12.00	12,00	14,00
<b>Tipo de condicionamento</b>	Equip. Janela	Equip. Janela	fain coil, chiller
<b>COP (W/W)</b>	2.94	2.94	3.2
<b>Ocupação (área/pessoa)</b>	7 m <sup>2</sup>	7 m <sup>2</sup>	7 m <sup>2</sup>
<b>Horas de Ocupação</b>	10 (8h to18h)	10 (8h to18h)	10 (8h to18h)
<b>Horas de uso Iluminação</b>	2500	2500	3200
<b>Horas de uso equip. Escritório</b>	2500	2500	2750
<b>Horas de uso HVAC</b>	Sistema Híbrido ( <i>schedule</i> de ventilação)	Sistema Híbrido ( <i>schedule</i> de ventilação)	14 (6h-20h)

Fonte: Elaborada pelos autores.

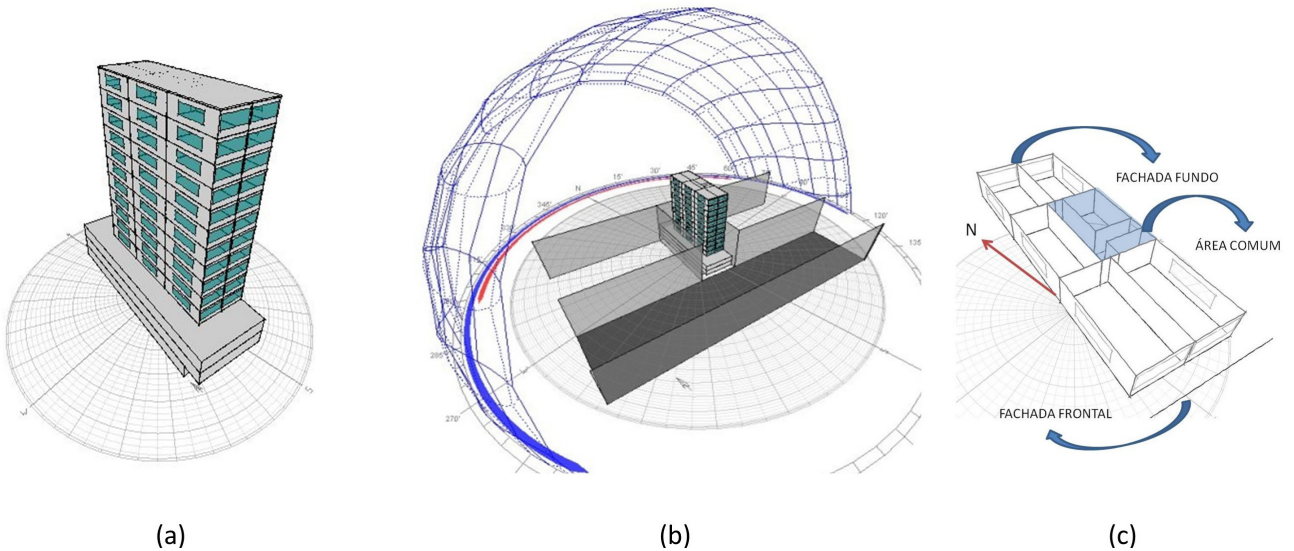
A Tabela 2 sintetiza os parâmetros utilizados na simulação de desempenho energético dos arquétipos Classe I, II e III. O Arquétipo Classe I foi baseado nas características prevalentes dos edifícios Classe I, o Arquétipo Classe II, nas características predominantes dos edifícios Classe II, e o Arquétipo Classe III foi referenciado nos edifícios de planta aberta condicionados por sistemas centrais, tendência identificada nos edifícios Classe III. As características físicas, o contexto urbano e a divisão interna dos zoneamentos térmicos dos arquétipos são apresentados nas Figuras 8, 9 e 10.

Figura 8 - (a) Características volumétricas Arquétipo Classe I, (b) Contexto Urbano, (c) Zonas Térmicas



Fonte: Elaborada pelos autores.

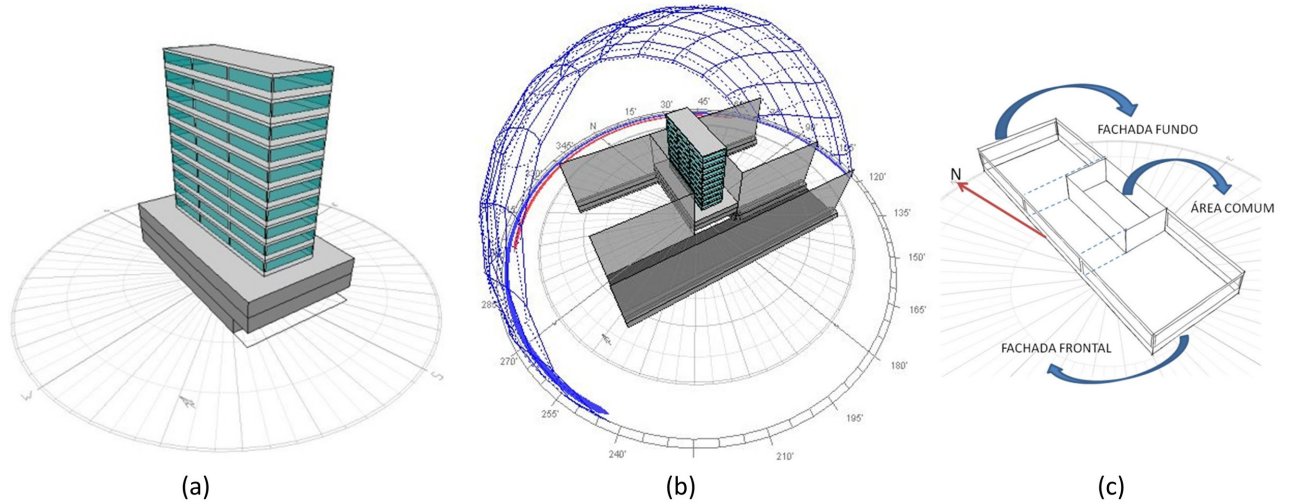
Figura 9 - (a) Características volumétricas Arquétipo Classe II, (b) Contexto Urbano, (c) Zonas Térmicas



Fonte: Elaborada pelos autores.

A análise dos resultados da simulação termoenergética indica substancial diferença entre intensidades de uso de energia – EUI dos Arquétipos Classe I, II e III conforme mostrado na Figura 10. A diferença encontrada entre os Arquétipos Classe III e II é da

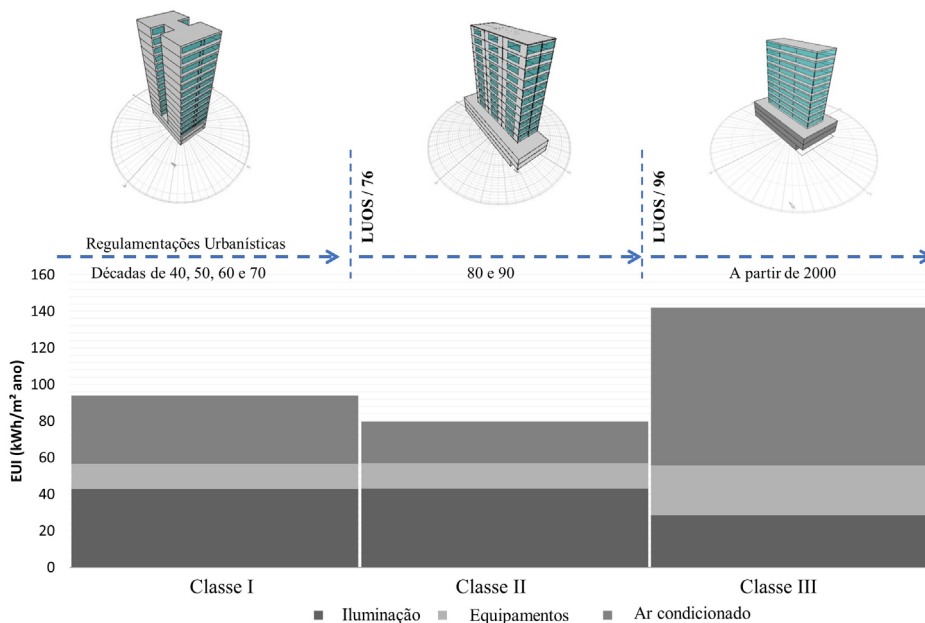
Figura 10 - (a) Características volumétricas Arquétipo Classe III, (b) Contexto Urbano, (c) Zonas Térmicas



Fonte: Elaborada pelos autores.

ordem de 96% enquanto entre os Arquétipos Classe III e I chega a aproximadamente 74%. Essa diferença evidencia uma tendência de intensificação do uso de energia nos edifícios contemporâneos da cidade (Classe III).

Figura 11 - Intensidade de uso de energia – EUI (kWh) / m<sup>2</sup> / ano desagregado por uso

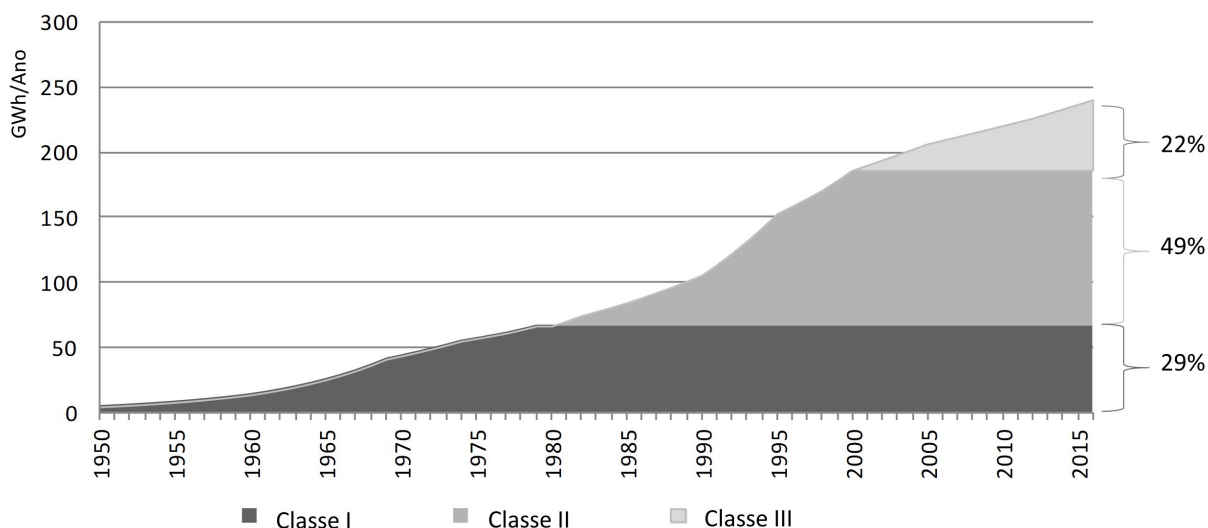


Fonte: Elaborada pelos autores.

Considerando as características dos arquétipos, a principal diferença relaciona-se à estratégia de condicionamento ambiental utilizada. Os Arquétipos Classe I e II que utilizam a estratégia de ventilação híbrida apresentam seus sistemas de condicionamento ativados em 55% e 45% das horas de ocupação respectivamente, explicando os valores mais baixos de EUI quando comparados ao Arquétipos Classe III, que utiliza sistema de condicionamento central atuando 100% das horas de ocupação do edifício. O maior percentual de horas de ativação do ar condicionado no Arquétipos Classe I comparado ao Arquétipos Classe II indica ainda a interferência do cânion urbano no acesso à ventilação natural. No caso do Arquétipos Classe III, observa-se ainda que a altura do entorno imediato e o percentual de área envidraçada potencializam o ganho de carga térmica pelo sistema de ar condicionado.

A Figura 12 mostra a Linha Base de consumo de energia elétrica estimada para os edifícios comerciais de grande porte da cidade de Belo Horizonte nos últimos 65 anos. A Linha Base de consumo foi estimada considerando o EUI simulado para cada arquétipo, a taxa de crescimento do estoque existente de edifícios e a representatividade em termos de área de cada arquétipo. Os edifícios Classe I tiveram seu consumo de energia baseado no Arquétipo Classe I; o Classe II, no Arquétipo Classe II; e os edifícios Classe III, no Arquétipo Classe III.

Figura 12 - Linha Base de consumo estimada para os edifícios comerciais de grande porte



Fonte: Elaborado pelos autores.

Analisando a Linha Base de consumo, observa-se que ações de modernização do estoque relacionadas à eficiência energética direcionadas aos edifícios das Classes I e II podem ter um impacto substancial na economia de energia, uma vez que juntos representam cerca de 78% do consumo.

Em relação às possíveis ações de *retrofit* para os edifícios Classe I e II, nota-se que a maior parte do potencial observado recai sobre atualizações tecnológicas (iluminação artificial e condicionamento térmico) e sobre a introdução de sistemas passivos (integração com a luz natural). Considerando a iluminação, as tecnologias atuais, como as lâmpadas T5 e LED, podem melhorar substancialmente a eficiência, especialmente para edifícios Classe I e II.

Neste estudo de caso, observa-se ainda que a forma dos edifícios e o acesso solar fornecido pelo contexto urbano, especialmente para edifícios Classe II e III, aumentam o potencial de integrações entre os sistemas de iluminação artificial e natural. Portanto, a implementação de estratégias de iluminação natural, se consideradas adequadamente, podem reduzir substancialmente o uso de iluminação artificial nesses arquétipos.

## Considerações finais

Este estudo apresenta uma metodologia para estimar a Linha Base de consumo de energia elétrica de uma tipologia de uso de edifícios existente. O estudo das regulamentações urbanas em uma perspectiva temporal e espacial juntamente com a análise do banco de dados referenciados no IPTU e a pesquisa de campo possibilitaram categorizar as tipologias de edifícios identificando para cada classe características prevalentes, bem como seus contextos urbanos. Para aplicação da metodologia, foi realizado um estudo de caso na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

Os Arquétipos Classe I, II e III criados com base nas Classes de Edifícios I, II e III foram o ponto de partida para o estudo das interações termoenergéticas. Neste estudo, observou-se que os edifícios de grande porte apresentam interações consideráveis com seus contextos urbanos, evidenciando que a legislação urbanística, ao influenciar a formação dos cânions urbanos, interferem na disponibilidade de luz natural e no ganho térmico. Se por um lado o adensamento pode representar o sombreamento mútuo das edificações e a diminuição de superfícies expostas às trocas térmicas, conduzindo a

uma redução da demanda nos sistemas de condicionamento ambiental, por outro, o adensamento pode representar uma redução na quantidade disponível de luz e ventilação natural acarretando aumento da demanda por luz artificial e perda na capacidade de buscar o controle térmico por meio da ventilação natural.

O desenvolvimento de linhas base de consumo energético são essenciais para entender os padrões de consumo do estoque de edifícios de uma cidade. Os resultados de EUI encontrados enfatizam o papel das escolhas técnicas, principalmente quando relacionadas aos sistemas de condicionamento ambiental. Os sistemas híbridos presentes nos arquétipos Classe I e II são identificados como uma abordagem técnica interessante para o contexto de Belo Horizonte em razão do baixo consumo de energia quando comparados aos sistemas de centrais de ar condicionado (arquétipo Classe III). Apesar do melhor desempenho dos sistemas de ar condicionado (coeficiente de COP) e de iluminação (DPI), este estudo mostra que os edifícios construídos a partir de 2000 (arquétipo Classe III) tendem a ser mais energeticamente intensos, demonstrando que a eficiência energética de sistemas individuais não equivale necessariamente a baixo consumo de energia do edifício. Nesse sentido, edifícios considerados eficientes e sustentáveis estão, às vezes, entre os maiores consumidores de energia elétrica das cidades (DENNY, 2013), o que significa que essa discussão vai além do desempenho e da inovação tecnológica nos edifícios. É necessário expandir esse debate com foco em questões como mudança de comportamento do usuário, concepção de edifício, entre outras.

Um melhor conhecimento das interações entre as edificações é essencial para melhorar o desempenho energético do estoque da construção. O contexto urbano e as características do edifício interagem e interferem na intensidade do uso de energia. A compreensão dessas interações levará a novas perspectivas sobre as oportunidades de economia de energia do estoque existente. Incentivar reformas de edifícios considerando sua inserção urbana pode ser decisivo para uma redução oportuna do uso de energia, especialmente para cidades consolidadas como Belo Horizonte, onde o crescimento lento e um estoque antigo de edifícios elevam a importância de reformar os existentes.

Estar ciente de todas essas interações é o caminho para um maior entendimento do consumo energético dos edifícios, o que pode nos ajudar a identificar o real potencial de redução de consumo de energia nas edificações existentes.

## Referências

AMORIM, C. N. D. Diagrama Morfológico Parte I: Instrumento de Análise e Projeto Ambiental com uso de Luz Natural. **Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo**, n. 3, p. 58-77, 2007. DOI: <https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n3.2007.12111>

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERING, Inc. - ASHRAE. **ASHRAE Standard 90.1 – 2010. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2010.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERING – ASHRAE, Thermal environmental conditions for human occupancy, Standard 55-2004. Atlanta: **American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering**, 2004.

BAKER, N. V.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K. **Daylighting in architecture: a European reference book**. [s.l.] Routledge, 2013.

BALLARINI, I.; CORGNATI, S. P.; CORRADO, V. Use of reference buildings to assess the energy saving potentials of the residential building stock: The experience of TABULA project. **Energy Policy**, v. 68, p. 273-284, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.01.027>

BELO HORIZONTE. **Decreto nº 165, de 1º de setembro de 1933**. [...] modifica o Regulamento Geral de Construções em Belo Horizonte, baixado com a Lei nº 363, de 1930 [...]. Belo Horizonte: Prefeitura de Belo Horizonte, 1933. Revogado pela Lei nº 6.370/1993. Disponível em: <https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/decreto/165/1933>. Acesso em: 7 nov. 2019.

BELO HORIZONTE. **Decreto-Lei nº 84, de 21 de dezembro de 1940**. Aprova o Regulamento de Construções da Prefeitura de Belo Horizonte. Belo Horizonte: Prefeitura de Belo Horizonte, 1940. Revogado. Disponível em: <https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/decreto-lei/84/1940>. Acesso em: 7 nov. 2019.

BELO HORIZONTE. **Lei nº 2.662, de 29 de novembro de 1976**. Dispõe sobre normas de uso e ocupação do solo no Município de Belo Horizonte e dá outras providências. Belo Horizonte: Câmara Municipal de Belo Horizonte, 1976. Revogada. Disponível em: <https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/lei/2662/1976>. Acesso em: 7 nov. 2019.

BELO HORIZONTE. **Lei 7.166, de 27 de agosto de 1996**. Estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano do Município. Belo Horizonte: Câmara Municipal de Belo Horizonte, 1996. Revogada. Disponível em: <https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/lei/7166/1996>. Acesso em: 7 nov. 2019.

BORGSTEIN, E. H.; LAMBERTS, R. Developing energy consumption benchmarks for buildings: Bank branches in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 82, p. 82-91, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.028>



BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro). **Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C)**. Anexo da Portaria nº 372, de 17 de setembro de 2010. Brasília, DF, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, 2010. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001599.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2016.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro). **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. Anexo da Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012. Brasília, DF, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, 2012. Disponível em: <http://www.pbgedifica.com.br/etiquetagem/residencial/regulamentos>. Acesso em: 21 jul. 2016.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balanco Energético Nacional 2019 - Ano Base 2018**. Rio de Janeiro: MME, 2019. Disponível em: <http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>. Acesso em: 10 out. 2019. CAPUTO, P.; COSTA, G.; FERRARI, S. A supporting method for defining energy strategies in the building sector at urban scale. **Energy Policy**, v. 55, p. 261-270, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.12.006>

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS – CBCS. Desempenho Energético Operacional em Edificações: Relatório Final-Benchmarking de escritórios corporativos e recomendações para certificação DEO no Brasil. São Paulo: **Conselho Brasileiro de Construções Sustentáveis**, 2015.

CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS – CIBSE. Guide F. Energy efficiency in buildings. London: **Chartered Institution of Building Services Engineers**, 2004.

DENNY, P. The Mechanization of the Office. In: **Is this not a Pipe?** Amsterdam: Stichting Archis, 2013. v. 37, p. 160.

GONÇALVES, J. C. S. (ORG); BODE, K. (ORG). **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

HEEREN, N. et al. A component-based bottom-up building stock model for comprehensive environmental impact assessment and target control. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 20, p. 45-56, abr. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.064>

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES – LABEEE. **Arquivos climáticos em formato TRY, SWERA, CSV e BIN**. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>. Acesso em: 15 jan. 2019.

LIDDAMENT, M. W. **Air infiltration calculation techniques: An applications guide**. [s.l.] Air Infiltration and Ventilation Centre, 1986.

MELO, A. P. et al. Development of surrogate models using artificial neural network for building shell energy labelling. **Energy Policy**, v. 69, p. 457-466, jun. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.02.001>

NORONHA, C. R. **Área Central de Belo Horizonte**: arqueologia do edifício vertical e espaço urbano construído. Belo Horizonte: Escola de Arquitetura – UFMG, 1999.

PBH. **Portal da Prefeitura de Belo Horizonte**. Disponível em: <http://bhmap.pbh.gov.br>. Acesso em: 23 nov. 2019.

REINHART, C. F.; CERESO DAVILA, C. Urban building energy modeling – A review of a nascent field. **Building and Environment**, v. 97, p. 196-202, 15 fev. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.12.001>

SWAN, L. G.; UGURSAL, V. I. Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 8, p. 1819-1835, out. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.033>

UNITED NATIONS. UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. **Human Development Report 2014**. New York: UNDP, 2014. Disponível em: <http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr14-report-en-1.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2015.

US. Department of Energy. **EnergyPlus Engineering Reference**. USA: Department of Energy, out. 2015. VELOSO, A. C. DE O.; SOUZA, R. V. G. DE; KOURY, R. N. N. Research of Design Features that Influence Energy Consumption in Office Buildings in Belo Horizonte, Brazil. **Energy Procedia**, v. 111, p. 101-110, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.012>

WAIDE, P.; AMANN, J. T.; HINGE, A. **Energy efficiency in the North American existing building stock**. France: International Energy Agency, 2007.