

MODELO PARAMÉTRICO PARA COMPATIBILIDADE AMBIENTAL DE MUSEUS DE ARTE EM REGIÕES SUBTROPICAIS

PARAMETRIC MODEL FOR ENVIRONMENTAL COMPATIBILITY OF ART MUSEUMS IN SUB-TROPICAL REGIONS

Laline Cenci¹ e Rodrigo Garcia Alvarado²

Resumo

Este artigo apresenta um modelo paramétrico para auxiliar na concepção de edifícios de museus com compatibilidade ambiental no clima subtropical úmido. Os museus têm apresentado diferentes concepções formais sem considerar o clima. A metodologia é dividida em quatro etapas: bibliográfica, onde apresentam-se os padrões e níveis de conflito no clima interior; estudos de caso, nos quais se analisam aspectos relacionados à forma da edificação, registros ambientais e consumo energético; entrevistas diretas e implementação paramétrica. Os casos estudados são: FIC em Porto Alegre, MON em Curitiba e MUBE em São Paulo, cujos distintos resultados sugerem influências de estratégias formais para satisfação e demanda de energia térmica.

Palavras chave: modelo paramétrico, compatibilidade ambiental, museus de arte.

Abstract

This article presents a parametric model to assist in the design of environmentally compatible museum buildings in the humid subtropical climate. Museums have presented different formal concepts without considering the climate. The methodology is divided into four steps: bibliographic, where the patterns and levels of conflict in the indoor climate are presented; case studies, in which aspects related to building form, environmental records and energy consumption are analyzed; direct interviews and parametric implementation. The case studies are: FIC in Porto Alegre, MON in Curitiba and MUBE in São Paulo, whose different results suggest influences of formal strategies for satisfaction and for thermal energy demand.

Keywords: parametric design, environmental compatibility, museum of art.

Introdução

O hábito de guardar e coletar objetos significativos pertence à história da humanidade. Em termos de arquitetura, a necessidade humana de coletar itens e contar sua história requer armazenamento em um espaço construído. O museu é o lugar em que sensações, ideias e imagens de pronto irradiadas por objetos e referenciais ali reunidos iluminam valores essenciais para o ser humano. Espaço fascinante onde se descobre e se aprende, nele se amplia o conhecimento e se aprofunda a consciência da identidade, da solidariedade e da partilha (Instituto Brasileiro de Museus- IBRAM, 2020).

De acordo com o estudo do IBRAM (2020), o Brasil entrou no século XX com 12 museus e agora tem 3.897. Também se estimou que, em 2017, os museus de todo o país foram visitados por um total de 1.223.113 visitantes, sendo que, dos 5.564 municípios brasileiros, 1172 (21,1%) deles possuem pelo menos um museu. A meta do instituto é aumentar os números para que metade das cidades tenha pelo menos um museu, o que significa, com base na estimativa de 2017, mais de 1600 novos museus no país com mais de 250 milhões de visitantes por ano, a maioria desses museus são alocados em clima subtropical úmido. A crescente demanda por cultura e pelos melhores locais de exposição incentiva as pessoas a se agruparem e a passarem cada vez mais tempo cercadas por elementos culturais importantes, como livros, esculturas, fotografias, documentos e pinturas.

Para administrar um museu, é essencial manter seu acervo dentro de valores ambientais adequados, como umidade e temperatura, para garantir sua preservação e, ao mesmo tempo, proporcionar aos visitantes uma experiência de conforto aceitável. O problema é que algumas das exigências ambientais das obras de arte nem sempre correspondem ao conforto térmico que as pessoas que o visitam. Portanto, é necessário estabilizar o clima interno do museu para atender aos dois parâmetros: temperatura e umidade. No entanto, para estabelecer os requisitos nestes padrões no clima subtropical úmido, cuja oscilação de temperatura ao longo do ano é bastante variada, a solução é contar com um sistema de ar condicionado.

Sabe-se que as decisões sobre a forma da arquitetura e os materiais de construção do edifício têm uma influência decisiva nas condições de conforto interno e por consequência no seu consumo energético. Assim, pesquisar a satisfação dos visitantes, no que diz respeito à sensação térmica e aceitabilidade em edifícios, procura estabelecer os parâmetros para projetar e construir ambientes adequados em função não só do clima, mas também da saúde e do conforto dos seus usuários (AULICIEMS E SZOKOLAY, 2007). Outro estudo, como o de Jeong e Lee (2006), afirmam que os elementos físicos do museu interferem na satisfação do usuário. Fatores como o tamanho do prédio têm um efeito sobre os visitantes que é perceptível pela quantidade de tempo que passam dentro do prédio. Padfield e Larsen (2010) asseguram que os estudos devem ser mais amplos e que nem sempre é necessário manter a temperatura e umidade de forma inflexível. Portanto, a questão emergente é: quais características geométricas têm os edifícios de museus de arte que mostram melhor compatibilidade ambiental?

O clima é um agente de primeira ordem no design porque tem uma forte influência sobre muitos fatores, como volume, forma, orientação e organização do espaço, conforto do usuário, conservação de objetos, iluminação interior, integração do ambiente, materiais e sistemas de construção e localização. A construção vai depender em grande medida do clima e suas demandas. A compacidade, esbeltez, porosidade e perfuração juntamente com a orientação da geometria do edifício são variáveis importantes a considerar no comportamento térmico ambiental do edifício

¹ Doutora em Arquitetura e Urbanismo pela *Universidad Del Bio-Bio/ Chile*, Docente da UFSM-CS.

² Doutor em *Comunicacion Visual* pelo *Universidad Politecnica de Cataluna/ Espanha*, Docente da *Universidad del Bio-Bio/ Chile*.

(SERRA E COCH, 1995).

O objetivo deste estudo é verificar a compatibilidade ambiental em três estudos de caso e relacionar a sua configuração formal ao seu impacto energético. Esse processo considera a revisão dos parâmetros ambientais exigidos para os museus de arte em clima subtropical úmido, comparando os valores de conservação de temperatura e umidade das obras, satisfação térmica dos visitantes e, junto com esses critérios, a Compatibilidade Ambiental - CA (CENCI *et al.*, 2015).

Além disso, considera-se os requisitos energéticos fornecidos pelos equipamentos e tecnologia para serem os mais eficientes possíveis e atuarem como um complemento à solução arquitetônica adequada. Em última análise, o objetivo principal desta pesquisa é uma proposta de modelo paramétrico para auxiliar no processo de projeto para gerar geometrias para museus de arte que atendam aos requisitos de Compatibilidade Ambiental. Os parâmetros derivam das condições higrotérmicas de conservação das obras e da satisfação térmica dos usuários e consumo energético. Tal objetivo é alcançado por meio da revisão de três estudos de casos de museus de arte brasileiros em clima subtropical úmido.

Compatibilidade Ambiental (CA) de Museus de Arte em Regiões Subtropicais

Denomina-se Compatibilidade Ambiental (CA) o valor determinado pelo atendimento aos Requisitos de Obras de Arte (RA) e Satisfação Térmica dos Usuários (SU) em extremos climáticos como inverno e verão (CENCI *et al.*, 2015, p.137).

Para tanto, foram comparados os dados de temperatura e umidade coletados do ambiente com as necessidades de materialidade da obra, em uma tabela de simultaneidade para cada período, inverno e verão, conforme especificado pela UNI 110829 (2001). Estes padrões são interpretados como um guia para avaliação da temperatura do ar, umidade para superfície de objetos expostos em espaços confinados (GENNUZA *et al.*, 2008).

No entanto, na mesma exposição podem existir materiais diferentes, papel fotográfico a preto e branco e documentos, como livros, que necessitam respectivamente de 15°C e 19°C. O ASHRAE Handbook (2007) recomenda uma umidade relativa abaixo de 60% e uma temperatura entre 15°C e 25°C para museus em geral. Thomson (1978) sugeriu que os limites de umidade deveriam estar entre 65% e 45%. Bellia (2007) e Ascione (2009) finalmente propuseram uma temperatura do ar interno de 22±1°C e umidade relativa de 50±5% para as salas de exposição, portanto estes são os valores reconhecidos e tidos como ideais para museus de arte no Brasil.

Salienta-se aqui que a busca de valores de temperatura e umidade (20° C com variação de 2° e 50% de umidade, com variação de 5%) ideais no clima subtropical úmido do Brasil, para preservação das obras, o uso de equipamentos torna-se imprescindível, o que acarretará no consumo energético (CENCI *et al.*, 2013).

Estudos de caso

Segundo o Instituto Brasileiro de Museus (IBRAM, 2020), a maioria dos museus, 52% deles, concentra-se no clima subtropical úmido, e as cidades com maior número de museus são São Paulo (123 museus), Curitiba (40 museus) e Porto Alegre (53 museus). Portanto, essas cidades possuem o maior número de visitantes, o que permite avaliar uma maior satisfação térmica. Selecionou-se um estudo de caso

recente e significativo de cada cidade, museus de arte de acervos semelhantes, abrigados em ambientes não compartimentados, onde o acervo e os usuários se encontram nas mesmas condições ambientais. Os estudos de caso selecionados são obras arquitetônicas de autoria de arquitetos de renome internacional. Esses trabalhos são bem conhecidos por seus aspectos formais, porém suas características bioclimáticas e ambientais, bem como o desempenho térmico, de forma geométrica, geralmente não são discutidas.

Fundação Iberê Camargo- FIC

A FIC foi inaugurada em 2008, em Porto Alegre (-30° 01' 59" S; -51° 13' 48" W), Estado do Rio Grande do Sul. O projeto é do arquiteto português Álvaro Siza Vieira, a fachada principal está voltada para o Lago Guaíba e a posterior está voltada para um pequeno morro. O edifício é constituído por um volume principal que alberga as salas de exposição que estão interligadas em forma de "L", conformando um átrio que inicia no pavimento térreo e três pisos superiores. Áreas de apoio como acervo, auditório, biblioteca, oficinas, salas de treinamento e utilidades estão localizadas no subsolo. A temperatura e a umidade do prédio são monitoradas 24 horas por dia. O sistema de ar condicionado esfria à noite, quando o custo da eletricidade é mais barato. Segundo os responsáveis pela instituição, o prédio consome de 30% a 40% menos energia do que as construções convencionais. Possui ainda captação de águas pluviais e tratamento de resíduos sólidos e líquidos.

Museu Oscar Niemeyer- MON

O MON foi inaugurado em 2008 em Curitiba (-25° 31' 52" S; -49° 10' 32" W), Estado do Paraná. Este edifício foi construído em 2002, conhecido como "olho" pela sua semelhança, é um dos exemplares da arquitetura moderna brasileira. O prédio de 30 metros de altura, projetado por Oscar Niemeyer, fica em frente a um prédio histórico e um túnel faz a ligação entre os dois. O showroom está localizado no lado convexo da estrutura em forma de olho, que tem 12 metros de altura no centro, destinando mais de 1,6 mil metros quadrados para exposições. As áreas de apoio, como auditório e casa de banho, localizam-se no lado côncavo do "olho". Externamente, 316 metros de rampas ligam o prédio à rua principal. Para manter a temperatura e a umidade interna dentro dos padrões ideais, o consumo de energia do prédio é bastante elevado e, sem ar condicionado, a temperatura interna é de cerca de 55 °C no verão.

Museu Brasileira da Escultura- MUBE

O Museu Brasileiro da Escultura, projetado por Paulo Mendes da Rocha, fica em um sítio triangular de sete mil metros quadrados, em uma rua importante da cidade de São Paulo (-23° 32' 51" S; -46° 38' 10" W), Estado de São Paulo. Inaugurado em 2007, possui grandes lajes de concreto que criam um espaço interno parcialmente subterrâneo e conforma também uma praça externa com espelho d'água e uma esplanada. Uma imensa viga de concreto, com 60 metros de comprimento, confere presença ao museu, ao mesmo tempo que garante à praça externa a necessidade de sombra e abrigo. As várias alturas do pé direito nas salas do interior do museu criam um espaço ao ar livre em degraus que é dividido pela fissura de entrada. Essas diferentes alturas também acomodam os degraus necessários para criar assentos ao ar livre para o espaço da praça, dando-lhe uma multifuncionalidade que geralmente é necessária para instituições de arte e seu tratamento de espaço aberto. Um aspecto interessante da viga de concreto elevada e, possivelmente, consequência não

intencional, é emoldurar os arredores.

Metodologia

A metodologia utiliza-se da coleta de informações a partir de estudos de caso que permite uma maior aproximação aos problemas apresentados, em prol da compatibilidade ambiental. A partir disso, a coleta de dados de suas características das formas da edificação e a sua compatibilidade ambiental é proposta para implementação paramétrica.

A Avaliação da Compatibilidade ambiental é apresentada por Cenci *et al.* (2015) que, a partir de seu estudo apresenta como possibilidade a proposta de concepção de edifícios ambientalmente adequados, através da modelagem paramétrica. Para a compatibilidade ambiental dos edifícios estudados, a temperatura e a umidade foram registradas (medidas *in situ* ou de acordo com os registros ambientais médios dos últimos três anos) durante os períodos de alta demanda de energia no inverno e verão. Os dados climáticos foram avaliados de acordo com a satisfação do usuário e requisitos térmicos, para diferentes tipos de obras de arte, de acordo com o UNI 10829/2001.

Para avaliar a satisfação térmica do usuário, foi realizada uma consulta por meio de uma avaliação subjetiva, foram consultados 264 visitantes. O número de usuários pesquisados foi igual à média do dia mais visitado em cada caso, a faixa etária ficou entre 18 e 65 anos e a avaliação foi realizada durante o inverno e verão de 2012. O total de entrevistados na FIC, foram 45 avaliações no verão e 50 no inverno; no MON foram 30 no verão e 50 no inverno; e no MUBE, 39 avaliações no verão e 50 no inverno. As pesquisas foram realizadas, em média, 20 a 30 minutos após a entrada do usuário na exposição e no período da tarde, entre 15h e 17h.

Os resultados do CA- Compatibilidade Ambiental, nos três estudos de caso, apresentam-se na tabela abaixo:

	Consumo (Kwh/m ² año)	CA = SU* (SU inverno + SU verão) + RO**	CA
Fundação Iberê Carmargo (FIC)	141	(95 + 92 + 72 + 72). 0,25	82,75
Museu Oscar Niemeyer (MON)	546	(76 + 96 + 73 + 72). 0,25	79,25
Museu da Escultura Brasileira (MUBE)	100	(62 + 96 + 35 + 57). 0,25	62,5

* SU: satisfação do usuário; ** RO: Requerimento para as obras

Discussão

Os resultados mostram variação significativa entre os três casos, embora não sejam regulares, dois deles apresentam pesquisa de SU igualmente baixa (MON e MUBE). Quanto ao RO das obras, em ambos os casos, foram encontrados valores relevantes, evidenciando situações diferentes, que poderiam estar relacionadas às suas configurações arquitetônicas e às condições de ocupação detectadas. Por exemplo, os valores de FIC para ambas as condições adequadas, no MUBE os resultados são

menores nos dois requisitos, embora com menor consumo. Enquanto a insatisfação do usuário, MON apresenta apenas uma obra de arte de manutenção adequada.

Isso pode ser vinculado para formar estratégias e gestão de cada edifício. No FIC e no MON, o ambiente estava sendo aquecido pelo sistema de ar condicionado, enquanto o MUBE não utiliza nenhum tipo de equipamento. Os três edifícios têm expressões formais únicas, sob o mesmo clima, têm exposições semelhantes construídas, na sua maioria, em concreto armado aparente, têm proporções volumétricas semelhantes e capacidade para alojar visitantes. O FIC é um volume compacto de quatro andares com um átrio que se conecta e tem a superfície mais opaca. O MON é um grande volume de um único piso com uma superfície translúcida em ambos os lados. O MUBE é um volume de um andar, três cômodos interligados, porém subterrâneos, que apresentam um comportamento diferente em relação ao clima, talvez afetem diretamente a satisfação do usuário. De acordo com os resultados as características de sua forma geométrica contribuem para o CA (CENCI *et al.* 2015).

Isto aponta uma lacuna de investigação para a implementação paramétrica das características do melhor estudo de caso, a FIC.

Implementação do Modelo Paramétrico

O trabalho sobre ferramentas computacionais avançadas mostra um processo interativo entre a prática de projeto e a avaliação do impacto das decisões arquitetônicas. O uso de procedimentos paramétricos muda o processo tradicional de descoberta de forma, muito ligado à experiência e intuição do projetista, e incentiva a expressão das condições e da relação por trás dos julgamentos pessoais usados para selecionar e avaliar a qualidade dos projetos.

Algoritmos paramétricos e genéticos têm demonstrado diversas aplicações em projetos arquitetônicos. Turrin *et al.* (2011, 2012) mostra os benefícios da combinação de modelagem paramétrica e seleção genética para melhorar os resultados das explorações geométricas em relação aos ganhos solares e luz natural. Wang, *et al.*, (2007) desenvolveram uma aplicação paramétrica para resolução de fachadas com conforto térmico e redução do consumo de energia. Existem também estudos sobre otimização multiobjetivos como em Torres & Sakamoto (2007) estudos sobre procedimentos evolutivos para desenvolver envelopes de acordo com a luz solar e requisitos visuais.

A possibilidade de geração de novas geometrias através do desenho paramétrico associado com as características geométricas para o projeto arquitetônico bioclimático desenvolvido por Serra e Coch (1995) como compacidade, porosidade, esbeltez e perfuração de cada forma, possibilitam uma interface de ajuste simultâneo entre a forma e o desempenho (CENCI *et al.*, 2013).

Os sistemas paramétricos apresentam-se como uma nova alternativa onde os conceitos de design e programação se combinam para serem adaptados ao campo do design, procurando explorar as possibilidades existentes em torno do desenvolvimento de uma ideia geométrica e construir uma nova forma de pensar os problemas na Arquitetura e Urbanismo. Atualmente, existem várias ferramentas de modelagem tridimensional que permitem aos projetistas modelar geometrias em uma tela. No entanto, apresentam limitações que não permitem que o processo de modificação seja realizado de forma rápida e fácil. O projeto paramétrico oferece a possibilidade de encontrar novas maneiras de originar soluções e controlar o processo de projeto. Desta forma, há tanto uma automação no que diz respeito à definição

das geometrias, quanto na geração de um modelo que possibilite alterações e / ou edições ao projeto de forma ágil e significativa (TEDESCHI, 2011).

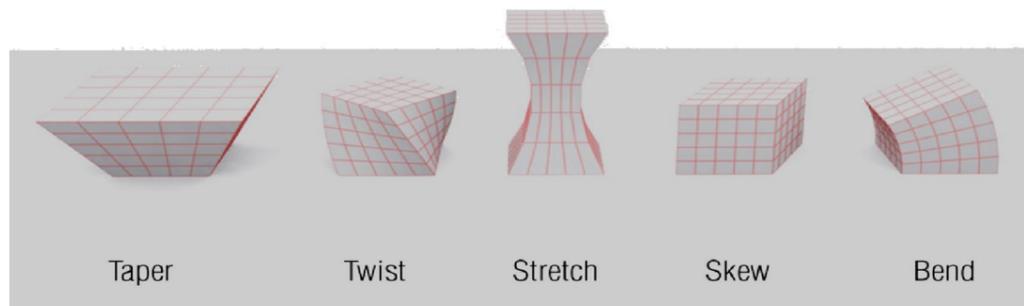
Descrição do procedimento para Modelagem Paramétrica

Para o início do procedimento, primeiramente foi criado um volume inicial proposto: um cubo baseado nas dimensões dos estudos de caso já mencionados, como largura, comprimento e altura. A altura do edifício estabelece a quantidade e altura dos níveis subsequentes, bem como define um átrio (continuidade vertical do espaço, ou seja, 1/3 da altura). Esses parâmetros são denominados na Tabela 2:

	Parâmetro	MUBE	MON	FIC
1	Área de Projetada (m ²)	3.071,34	2.100	849
2	Área Total(m ²)	3.071,34	2.934,5	2.450
3	Longitude máxima em x (m)	85	70	45
4	Longitude máxima em y (m)	55	30	22
5	Altura máxima z (m)	5	30	25
6	Número de Pavimentos	1	2	4
7	Átrio	-	-	1/3

Portanto de acordo com a Tabela 1, uma geometria mínima possível, com área mínima para um museu é de aproximadamente 500m² (22 metros de largura, 22 metros de comprimento e 5 metros de altura, em um prédio térreo). Isto porque, além das dimensões mínimas dos estudos de caso, considerou-se como mínimo 500m², valor que se refere a metragem quadrada média dos museus no Brasil (IBRAM, 2010 p. 98); e para um museu com área máxima de 6.500m², baseado no estudo de caso com melhor CA, 45 metros de largura e 45 metros de comprimento, em um prédio de quatro pavimentos.

Com estes valores do domínio de valores dimensionais, o seguinte passo foi a aplicar as transformações tridimensionais ao volume inicial. Para este volume inicial são designadas quatro diferentes transformações tridimensionais que modificam a geometria, conforme parâmetros do trabalho de Marin *et al.* (2008), que utiliza: *Taper*, *Twist*, *Stretch*, *Skew* e *Bend*, como ilustra a Figura 1 a seguir:



A modelagem paramétrica, permite que, ao mesmo tempo quem que são aplicadas as transformações tridimensionais ao volume inicial, equações relacionadas a geometria da edificação que influenciam no consumo, segundo Serra e Coch (1995) são: compacidade, esbeltez, porosidade e perfuração. Estas características estão diretamente ligadas ao volume de ar que demanda energia para resfriar ou aquecer.

Tabela 2: Domínio das dimensões Geométricas. Fonte: Cenci *et al.* (2015 p. 153). Tradução própria, 2020.

Figura 1: Transformações Tridimensionais exploradas. Fonte: Marin *et al.*, (2008).

As equações (1,2 e 3) parametrizadas são:

$$1. \quad c = \frac{Seq}{Sg} \quad \therefore \quad 4,836 \frac{Vt^{2/3}}{Sg} \quad (adimensional)$$

Onde: c = coeficiente de compacidade, (valores entre 0 e 1); Seq = superfície equivalente; Vt = volume total do edifício, incluídos os pátios; Sg = superfície global da envolvente do edifício.

$$2. \quad p = \frac{Vep}{Vt} \quad \therefore \quad 0,094 \frac{Spp^{3/2}}{Vt} \quad (adimensional)$$

Onde: p = coeficiente de porosidade do edifício, (valores entre 0 e 1); vep = volume equivalente de pátios; Vt = volume total do edifício, incluídos os pátios; Spp = (superfícies paredes pátios + superfícies faces abertas).

$$3. \quad e = \frac{h}{d} \quad \therefore \quad \frac{h}{\sqrt{\frac{Vt}{h}} \cdot h^2} \quad (adimensional)$$

Onde: e = coeficiente de esbeltez; h = altura do edifício; So = superfície ocupada em planta ou superfície média; r = raio do círculo de superfície S.

A partir do domínio de valores dimensionais, define-se a área do térreo, o número de pavimentos, após este, os valores referentes a compacidade, esbeltez e porosidade devem ser equivalentes ao melhor estudo de caso- FIC. Este modelo de implementação paramétrica é exposto no Diagrama 1, a seguir:

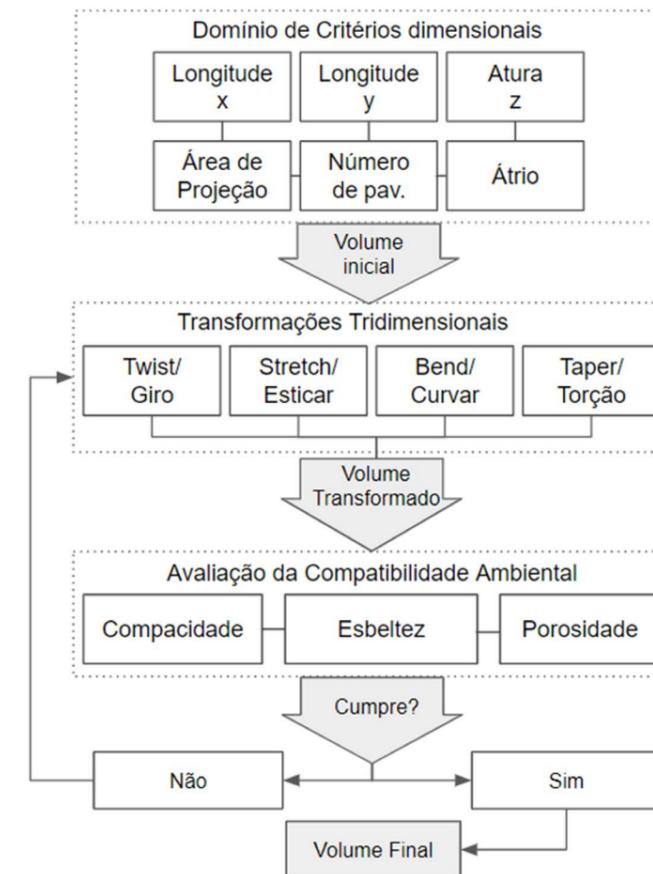


Diagrama 1: Implementação Paramétrica. Fonte: Cenci *et al.* (2015 p. 155). Tradução própria, 2020.

A parte inferior do diagrama mostra o domínio dos critérios ambientais, ou seja, a avaliação da Compatibilidade Ambiental. Esses valores são manipulados em geometrias resultantes onde os dados de superfície e volume global associados às equações de compactação, porosidade, esbeltez e geometria de perfuração simultaneamente para avaliar seu desempenho projetados com CA. Das três equações propostas para implementação do projeto paramétrico, uma foi predeterminada: a porosidade. Isto se deve porque a característica de porosidade não é observada em nenhum dos três estudos de caso possui o pátio, por isto foi considerado na proposta que as geometrias geradas pela programação também deveriam possuir tal característica. No que se refere a perfuração (superfície envidraçada) considerou-se 5% para a fachada sul, 25% para as fachadas norte e leste e oeste 0% propriedades pertencentes ao melhor estudo de caso, a FIC. Assim, os valores referentes a esbeltez e compacidade são alternados à medida que as transformações são aplicadas a geometria de modo simultâneo.

A ferramenta utilizada para a implementação de uma plataforma de projeto foi construída com o sistema de programação paramétrica Grasshopper® na ferramenta de modelagem tridimensional *Rhinceros*®. De acordo com Turin, *et al.*, (2011) existem benefícios significativos na combinação de modelagem paramétrica e algoritmos em estágios iniciais de projeto, o que permite ter rapidamente várias soluções para um problema explorando geometrias.

Essas ferramentas podem conectar uma ou mais estratégias de configuração de projeto por meio da definição de parâmetros relevantes e precisos de um estudo de caso específico, especialmente para implementação em geometrias para museus no clima subtropical úmido do Brasil.

Descrição do procedimento da modelagem de novas geometrias

A seção anterior descreveu como os algoritmos foram definidos e como operar o Modelo Paramétrico (MP) de geração geométrica para alcançar a CA em edifícios de museus no clima subtropical úmido brasileiro. Objetiva-se aqui descrever os procedimentos de utilização da plataforma de ferramentas de desenho *Rhinceros*® em associação com o plugin *Grasshopper*®. O primeiro passo é abrir o *Rhinceros*® e depois digitar *Grasshopper*® na barra de comandos, a partir deste ponto deve-se dividir a tela entre os dois softwares. Na plataforma *Grasshopper*®, deve ser exibido um arquivo mostrando a definição do algoritmo do MP para CA. A Figura 2, exibe a interface com o algoritmo criado:

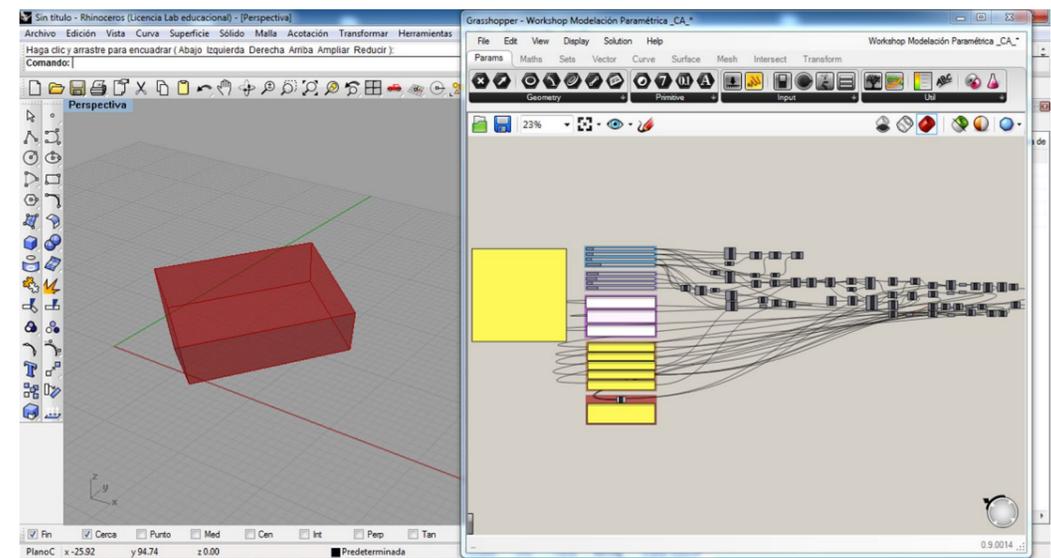


Figura 2: Implementação Paramétrica para CA na Interface. Fonte: Cenci et al. (2015, p. 156).

Para facilitar a modelagem, a interface classificou-se o parâmetro em cinco subgrupos de cores, ordenando cores diferentes de uma a cinco; assim, o usuário não modifica os conectores que descrevem a definição do algoritmo.

Para iniciar o processo de geração da geometria, primeiramente são modificados os parâmetros dimensionais do volume inicial, o usuário escolhe valores para as dimensões X, Y e Z (X sendo largura, Y sendo profundidade e Z sendo altura) nos controles deslizantes da caixa azul. Em seguida, aplica-se deformações tridimensionais nos controles deslizantes do grupo lilás, até seus valores de esbeltez (0,04) e compacidade (0,5) serem alcançados. Esses valores e deformações são verificados simultaneamente no grupo caixa rosa: Compatibilidade Ambiental. A Figura 3 a seguir mostra os grupos e suas respectivas cores:

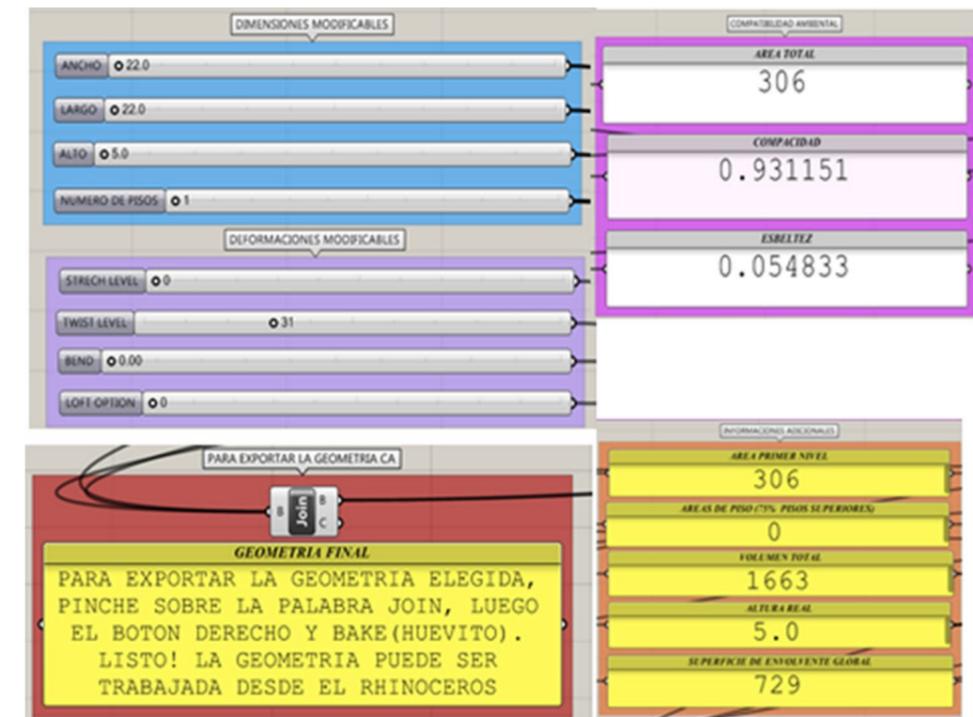


Figura 3: Parâmetros e categorias de cores. Fonte: Cenci et al. (2015, p. 158).

Os parâmetros que contém os grupos de cores acima são apresentados no Quadro 1 abaixo e descreve as informações respectivas, onde:

	Grupo	Parâmetro/ Variáveis
1	Azul: Dimensões	X, corresponde a um mínimo de 22m e máximo de 45m. Y, corresponde a um mínimo de 22m e máximo de 45m. Z, corresponde a um mínimo de 5m e máximo de 30m
2	Lilás: Transformações Tridimensionais	Aplicação das Transformações: <i>Taper, Twist, Stretch, Skew e Bend,</i>
3	Rosa: Valores para CA	Valores associados a Geometria Devem cumprir obrigatoriamente: Compacidade 0,5 e Esbeltez 0,04
4	Laranja: Informações Adicionais	Valores referentes ao Volume Final: Área total, área do primeiro pavimento, área dos pavimentos superiores (equivalente a 75% e 25% para o átrio) Volume total, altura e superfície da envolvente.
5	Vermelho: Volume Final	Indicações de como exportar a geometria

Todas essas mudanças implementadas parametricamente nos controles deslizantes da interface do *Grasshopper*® causam um efeito na geometria que é exibida na tela do *Rhinoceros*®. O último passo deste processo de implementação paramétrica é exportar esta geometria para outro software ou imprimi-la para que possa ser estudada como anteprojeto como plantas e seções e complementar as recomendações finais, como localização de superfície envidraçada nas fachadas correspondentes.

Experiência da Implementação Paramétrica

A etapa final do desenvolvimento foi o teste da ferramenta para arquitetos. O *Workshop* foi realizado com um grupo de profissionais arquitetos de diversos países. Nenhum dos arquitetos tem experiência com projetos no clima subtropical do Brasil. No *workshop* de MP para CA, os profissionais passaram por uma etapa de capacitação e conhecimentos que abordam este trabalho e lhes foi apresentada como proposta a apresentação de volume de edifício de museu de arte contemporânea com critérios ambientais. Apresentou-se um terreno real em uma das cidades do estudo de caso. Após este momento se apresentou a ferramenta e após a capacitação, tiveram algumas horas para fazer uma proposta, com uma pequena apresentação composta por imagens e esquemas/croquis. Além disso, foi recomendado localizar o edifício com seu maior eixo ao norte, atender aos critérios de perfuração: 25% da área da fachada envidraçada ao norte e 5% na fachada sul e os valores de compacidade, esbeltez e porosidade da referentes a FIC. Durante apenas um dia, os participantes aprenderam sobre os conceitos relacionados à compatibilidade ambiental e como esses conceitos foram inseridos na ferramenta paramétrica.

A Tabela 3 a seguir apresenta as geometrias geradas pelos participantes do *workshop*

com a ferramenta proposta que atendeu aos valores específicos de compacidade de 0,5 e esbeltez de 0,04:

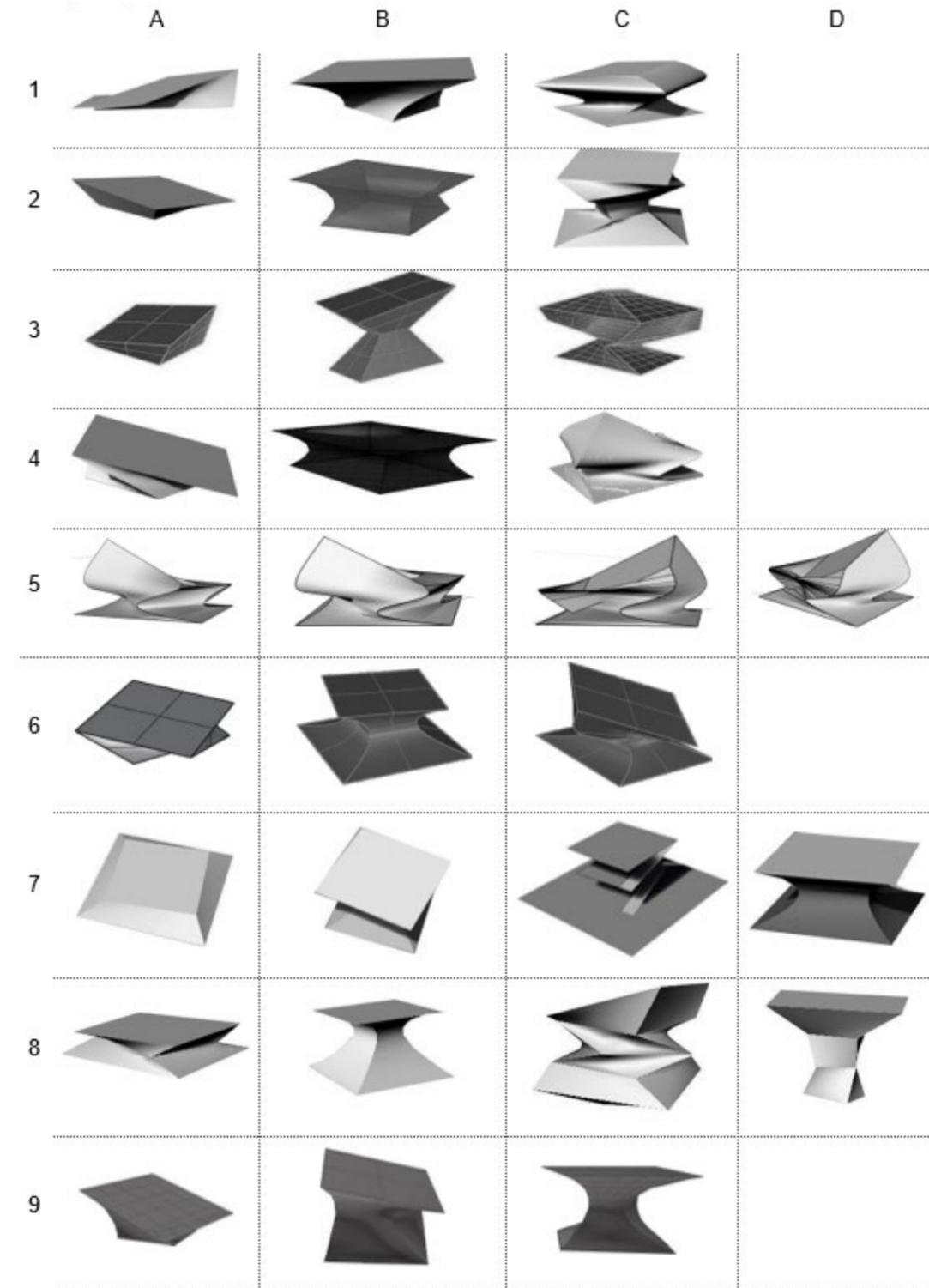


Tabela 3: Resultados dos participantes do Workshop. Fonte: Cenci et al. (2015, p. 161). Adaptação da autora, 2020).

Discussões

A partir desta implementação do Modelo Paramétrico para a Compatibilidade Ambiental de Edifícios de museu no clima subtropical úmido do Brasil, faz-se necessário algumas ressalvas e apontamentos:

- Os valores exatos de compacidade e esbeltez utilizados são valores baseados unicamente em estudos de caso, portanto, não devem ser aplicados em qualquer edificação e/ou clima;
- A investigação foi direcionada para a concepção de novos edifícios de museus de arte, apesar de existir um grande número de edifícios não construídos para o efeito a serem utilizados para esta função;
- Arquiteturas de expressão excepcional não são suficientes para compatibilidade ambiental. Complementar uma arquitetura de qualidade espacial, contextual com estratégias climáticas é uma solução desejável.

Quanto aos participantes do workshop de Modelagem Paramétrica para a CA, todos manifestaram que compreenderam a ferramenta para o desenvolvimento da proposta. Alguns comentaram que para construir um museu tentariam encontrar na internet informações sobre alguns museus de arte nesse clima. Outros mencionaram que talvez mais importante do que verificar o clima seja analisar a localização e o tamanho das obras e a escala do ambiente. Por outro lado, refletiram: *é como um concurso e nem sempre se conhece o clima do local e tem que propor algo novo [...]* Da mesma forma, foi mencionado que: *não há muitas referências em climas tropicais ou subtropicais, e que nos climas onde referências são encontradas, o consumo está mais associado ao aquecimento do que ao resfriamento e, portanto, é difícil utilizá-los como referência.*

Também disseram que poderia ser replicado para que todos os museus, pois é sabido o quão importante é o controle da temperatura interna para as obras, e que: *então parece estranho que tal prioridade não seja levada em consideração de forma tão clara na fase inicial de projeto.* Da mesma forma, mencionaram que um grande número de museus oferece soluções técnicas muito além da solução formal ou que a solução formal não leva em conta o consumo de energia e materiais da área. Também se referiram à questão da expressividade das edificações, dizendo que é muito importante para o turismo, então pensariam em propor uma edificação com impacto visual, e Oscar Niemeyer também foi citado: conhecendo algumas obras do Brasil seria possível propor edifícios Gehry que *são como uma obra de arte que contém obras de arte [...]*.

Alguns participantes ressaltaram a variedade de geometrias encontradas mesmo usando os valores referentes ao estudo de caso e se sentiram confiantes quanto ao desempenho ambiental sugerido pela ferramenta, uma vez que nesta etapa inicial do processo de projeto não existe nenhum tipo de instrumento capaz de guiá-los para uma proposta ambientalmente adequada.

Conclusões

Este trabalho demonstra o desenvolvimento de modelagem paramétrica para apoiar projetos arquitetônicos de museus de arte em regiões subtropicais, permitindo uma adequada compatibilidade ambiental. O desenvolvimento baseou-se em estudos de

caso e implementação computacional de algumas funcionalidades para a elaboração de uma ferramenta que promove a variedade e o desempenho das edificações.

As experiências do MON, MUBE e FIC, de arquitetos destacados, evidenciam uma capacidade profissional e disponibilidade das instituições, que podem ser distribuídas com apoio técnico, institucional e econômico para promover o sentido de preservação, conservação e histórico cultural em lugares de memória. Os casos estudados diferem em aspectos geométricos e da análise de consumo e compatibilidade ambiental, pode-se concluir que o FIC possui as características mais adequadas para o clima subtropical úmido, mas que, ao mesmo tempo, não representa um exemplo único a seguir. Verifica-se a possibilidade de gerar formas geométricas com as mesmas características, estimulando o aprendizado com obras arquitetônicas tão destacadas. Os valores referentes ao melhor estudo de caso, com relação a CA, a Fundação Iberê Camargo-FIC, nas equações de compacidade, esbeltez e porosidade apresentadas, foram inseridas na plataforma de desenho paramétrico e possibilitou gerar uma variedade de formas com as mesmas características. Apesar de ser uma ferramenta restrita, devido a abordagem em estudos de caso, a ferramenta demonstrou-se bastante prática, pois gera geometria ao mesmo tempo que os valores podem ser observados. Por fim, foi possível verificar que o processo de MP, foi aqui apresentado e é sugerido como alternativa onde os conceitos de concepção e critérios ambientais são combinados para serem adaptados às etapas iniciais do processo de projeto. Procura-se ainda explorar as possibilidades existentes em torno do desenvolvimento de um processo paramétrico capaz de propor e avaliar soluções arquitetônicas cada vez mais assertivas quanto às respostas climáticas, assim constituir-se uma forma de repensar os problemas neste âmbito.

A implementação do conceito de Compatibilidade Ambiental em uma ferramenta de projeto implica uma mudança no ato de projetar. Novos métodos podem ajudar os arquitetos a explorar geometrias mais complexas e eficientes, garantindo o desempenho ambiental de sua proposta ainda nos estágios iniciais de projeto. Pois bem, seja qual for a forma, o que se pretende atualmente é otimizar recursos técnicos e ambientais para a gestão e utilização de espaços públicos de qualidade, por sua vez, isto abre novas portas para outras formas de projetar e pensar o espaço.

Referências

ANSI/ASHRAE Standard 55, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA, 2004.

AULICIEMS, Andris; SZOKOLAY Steven. *Thermal Comfort. PLEA: Passive and Low Energy Architecture International in association with Department of Architecture the University of Queensland Brisbane.*

CENCI, Laline; ALVARADO, Rodrigo Garcia; MUÑOZ, Jaime Jofré. *Compatibilidad ambiental en museos de arte: tres casos de estudio en el clima subtropical húmedo de Brasil.* Arquitectura Revista. Vol. 9, n. 2, p. 112-124, jul/dez 2013. DOI: <https://doi.org/10.4013/arq.2013.92.04>.

CENCI, Laline; ALVARADO, Rodrigo Garcia.; MUÑOZ, Jaime Jofré. *Compatibilidad ambiental y modelación paramétrica del volumen, tres casos de estudio: FIC, MON y MUBE.* Tese de Doutorado. *Universidad del Bío-Bío.* Concepción, Chile. 2015.

GENNUZA, Maria La; RIZZO, Gianfranco; RODONO, Giuseppe; SCACCIANOCE,

Gianluca, PIETRAFESA, Matilde. *Comfort and artwork saving in museums: comparing indoor requisites*. *International Journal of Sustainable Design*, pag. 199 - 222. Volume 1, Number 2 / 2009.

GENNUZA, Maria La; LASCARI, Giovanni; Rizzo, Gianfranco; Scaccianoce, Gianluca. *Conflicting needs of the thermal indoor environment of museums: In search of a practical compromise*. *Journal of Cultural Heritage*, Vol. 9125-134, Palermo, 2008.

GÓMEZ, Analia Fernanda. *Una aproximación al diseño ambientalmente consciente en espacios de guarda. Estudio de casos*. Actas do I SEMINÁRIO DE INVESTIGAÇÃO EM MUSEOLOGIA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA E ESPANHOLA, Volume 2, pp. 19-33, 2006.

IBRAM. *Instituto Brasileiro de Museus*. Disponível: <http://www.ibram.gov.br/>. Acesso em novembro de 2020.

ISO 7730, *Ergonomics of the Thermal Environment and Analytical determination and Interpretation of Thermal Comfort using Calculation of the PMV and PPD*. *International Organization for Standardization*. Geneva, 2005

JEONG, Jae-Hoon; LEE, Kyung-Hoon. *The physical environment in museums and its effects on visitor's satisfaction*. *Building and environmental*, Vol. 41. 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132305001460>. Acesso 30/03/2021.

KOLAREVIC, Branko. *Architecture in the Digital Age: Design and manufacturing*. New York: Spon Press, 2013.

MITCHELL, William J. *The theoretical foundation of computer-aided architectural design*. *Environment and Planning B*, v. 2, n. 2, 127-150, 1975. Doi:10.1068/b020127.

MITCHELL, William J. *A Lógica da Arquitetura: projeto, computação e cognição*. Tradução de Gabriela Celani. São Paulo: Editora da USP, 2008. ISBN: 8523807986.

MITCHELL, William J.; MCCULLOUGH, Malcolm. *Design Digital Media*. Canadá: John Wiley & Sons, 1995.

MARIN, Philippe; BIGNON, Jean-Claude; LEQUAY, Hervé. *Paramètres environnementaux et mécanismes de conception évolutive*. (2008) Disponível: [<http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00440272>]. Acesso em 30/03/2021.

MONTANER, Josep María. *Museos para el siglo XXI*. España. Gustavo Gilli. 2003.

PADFIELD Tim; BORCHENSEN, Karen. *Museum Microclimates*. National of Denmark. 2007

PADFIELD, Tim; LARSEN, Poul Klensz; *Does a standard temperature need to be constant?* Energy Strategies Committee, January 6, 2010. Disponível em: https://www.conservationsphysics.org/ppubs/standard_temperature.pdf. Acesso em 30/03/2021.

SEGRE, Roberto. *Museus Brasileiros*. Rio de Janeiro. Ed. Viana & Mosley. 2010.

SERRA, Rafael Serra Florensa; COCH, Helena Coch. Roura. *Arquitectura y energía natural*. Barcelona. Editora UPC. 1995.

THOMSON, Gary. *El museo y su entorno*. 2ª edición. Akal ediciones. Madrid, España. 1998.

TEDESCHI, Arturo. *Parametric Architecture with Grasshopper*. Brienza, Italia: Le Penser, 2011.

TORRES, Santiago. L.; SAKAMOTO, Yuzo. (2007). *Facade design optimization for daylight with a simple genetic algorithm*. *Proceedings of Buildings Simulation*. Beijing. Disponível em: http://www.ibpsa.org/proceedings/bs2007/p117_final.pdf. Acesso em 30/03/2021.

TURRIN, Michela; BUELOW, Peter Von ; STOUFFS, Rudi (2011). *Design Explorations of performance driven geometry in architectural design using parametric model and genetic algorithms*. *Advanced Engineering Informatics*. V.25, 656-675/2011.

TURRIN, Michela; BUELOW, Peter Von ; KILIAN, Axel; STOUFFS, Rudi.(2012). *Performative skins for passive climatic comfort. A parametric design process*. *Automation in construction*. V. 22, 36-50/2012.

UNI, 10829, *Works of Art of Historical Importance. Ambient Conditions for the Conservation.Measurement and Analysis, UNI e EntelitalianodiUnificazione, Milano, 1999.*

UNI 10829:1999. *Beni di interesse storico e artistico. Condizioni Ambientali Di Conservazione. Misurazione Ed Analisi*. UNI. Ente Nazionale Italiano di Unificazione-Milano.

WANG, Liping; WONG, Nyuk Hien; LI, Shuo. (2007). *Corrigendum to Façade design optimization for naturally ventilated residential buildings in Singapore*. *Energy and Buildings*. Volume 39. Issue 8.954-961 Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778810001416>. Acesso em 30/03/2021.

WOODBURY, Robert. *Elements of Parametric Design*. New York: Routledge, 2010. ISBN-10: 0415779871 | ISBN-13: 978-0415779876 0.