

APLICAÇÃO DE MÉTODOS COMPUTACIONAIS PARA PRESERVAÇÃO DA ARQUITETURA MODERNA

Silvana da Rocha Rodrigues^{1,2}, Patrícia Nunes da Silva¹ e Mônica Martins Andrade Tolentino^{3,4}

¹*Programa de pós-graduação em Ciências Computacionais e Modelagem Matemática, UERJ, Brasil*

²*Department of History, Representation and Restoration of Architecture, Sapienza University of Rome, Itália*

³*Programa de Pós-graduação do Instituto de Arquitetura e Urbanismo, USP, Brasil*

⁴*Instituto de Ciências e Tecnologia, UFVJM, Brasil*

RESUMO

Este artigo aborda a preservação da arquitetura moderna brasileira por meio do uso de métodos computacionais, em particular a metodologia HBIM (Heritage Building Information Modeling). A pesquisa examina como a teoria da gramática da forma pode ser usada como ferramenta para parametrização em ambientes BIM. O estudo apresentará um algoritmo baseado nas proporções da Villa Savoye, residência projetada por Le Corbusier. O artigo contribui para a discussão sobre a aplicação de tecnologias avançadas na preservação do Patrimônio Arquitetônico, sugerindo soluções que combinam inovação tecnológica e rigor histórico.

PALAVRAS CHAVES

Gramática da Forma, GDL, HBIM, Arquitetura Moderna, Villa Savoye

1. INTRODUÇÃO

Diferentemente de outras áreas da arte, que tiveram na Semana de Arte Moderna de 1922 sua principal vitrine para o Brasil e o mundo, a arquitetura moderna brasileira ganhou destaque somente nos anos de 1930, durante o Governo Vargas (Klessel, 2022). Essa visibilidade se deu principalmente pela insistência do então ministro da educação Gustavo Capanema em dar ao seu ministério um aspecto de modernidade. Neste período uma das principais preocupações do governo era que o Brasil refletisse a imagem de um país em desenvolvimento. O presidente queria criar uma identidade nacional e esta deveria representar um futuro próspero e moderno. Em um primeiro momento, a arquitetura moderna encontrou resistência, principalmente por parte dos arquitetos tradicionais, que enxergavam em outros estilos a arquitetura genuinamente brasileira.

Após o projeto e construção da moderna sede do Ministério da Educação e Saúde (MES), a arquitetura moderna, antes ainda tímida, pôde se revelar. No Brasil a arquitetura moderna recebeu traços e soluções próprias que consideravam o clima tropical do país (Canuto & Salgado, 2020). Tal característica fez com que a arquitetura moderna se tornasse uma marca da arquitetura brasileira. Muitos arquitetos ganharam destaque mundial, sendo Oscar Niemeyer o nome mais celebrado, mas existiam outros. Lucio Costa, por exemplo, foi um dos responsáveis por difundir os ensinamentos da arquitetura moderna no país, principalmente quando esteve à frente da Escola Nacional de Belas Artes (ENBA). Seu nome era tão respeitado que foi o escolhido para conduzir o projeto para o MES.

O legado dos arquitetos modernistas continua espalhado pelo Brasil, mas nem sempre é reconhecido como um patrimônio de nossa arquitetura. Então, de que forma pesquisadores podem contribuir para a preservação da arquitetura moderna brasileira? Diferente de outros estilos arquitetônicos – como por exemplo, a arquitetura colonial brasileira, que não apresenta grande rigor na sua execução – a arquitetura moderna é fortemente concebida com base em regras matemáticas que podem ser parametrizadas. O estudo destas regras e sua posterior parametrização podem auxiliar a criação de documentação de projetos modernistas?

O problema a ser abordado neste artigo está relacionado à preservação do Patrimônio Arquitetônico, com foco específico na arquitetura moderna. A preservação da memória deste estilo, considerado novo se comparado a tantos outros, tem sido tema de discussão, tendo como um dos pontos o uso computacional. Citando um exemplo, temos a dissertação de Canuto (2017) que trata da memória do Palácio Gustavo

Capanema (antigo MES), ícone da arquitetura moderna brasileira, utilizando o HBIM (Heritage Building Information Modeling). Para outros estilos arquitetônicos podemos citar como exemplo do uso computacional a tese de Tolentino (2018), que discute o uso da metodologia HBIM na documentação de uma igreja do século XVIII.

Até o momento, as pesquisas consultadas que utilizam esta metodologia, tratam deste assunto como um usuário de softwares BIM (Building Information Modeling). Mesmo as pesquisas onde há a criação de bibliotecas parametrizadas, como por exemplo o artigo de Simeone, Stefano e Acierno (2019), não apresentam como os elementos que compõem a biblioteca foram criados, gerando uma lacuna no que tange às soluções de caráter computacional. Desta forma, este artigo possui como objetivo apresentar teorias computacionais que podem ser aplicadas a metodologia HBIM, auxiliando assim a preservação da arquitetura moderna.

2. METODOLOGIAS COMPUTACIONAIS PARA PARAMETRIZAÇÃO EM BIM

A representação gráfica é a maneira como arquitetos expressam as suas ideias e em um primeiro momento, o recurso disponível para se projetar era a prancheta e os instrumentos de desenho. Com a chegada de novas tecnologias no século XX e a possibilidade de acesso a computadores pessoais na década de 1980, a forma de representar graficamente os projetos evoluiu (Tolentino, 2018).

O uso de computadores para o desenvolvimento de projetos gráficos, iniciou-se em 1962, no Lincoln Laboratory do Massachusetts Institute of Technology, com a pesquisa de doutorado de Ivan E. Sutherland, que desenvolveu o Sketchpad. Este sistema é considerado a primeira interface gráfica de computador, tornando possível a interação entre máquina e homem através de elementos gráficos.

Ainda na década de 1960, ambientes Computer Aided Design (CAD), definidos como editores de desenho e modeladores tridimensionais, tornaram o processo projetual mais rápido e preciso. Atualmente, o CAD está dando lugar a metodologia Building Information Modeling (BIM), que possui como princípio básico a inserção de informações em modelos virtuais de uma construção, usando softwares específicos e oferecendo suporte ao projeto em todas as fases de vida da edificação.

Para a área patrimonial, diversos documentos dissertam sobre o uso computacional na preservação dos bens arquitetônicos. Na década de 1980, a Declaração de São Paulo (Cartas Patrimoniais, 1989), reconheceu as potencialidades das novas tecnologias na conservação do patrimônio. Já nos anos 2000, a Carta de Londres (Cartas Patrimoniais, 2009) estipulou o que seria necessário para que a visualização computadorizada pudesse ser considerada confiável. Esta carta é considerada atualmente o documento mais importante na área de Patrimônio Cultural e novas tecnologias. Atualmente, no âmbito do Patrimônio Cultural, tem-se utilizado uma metodologia baseada no BIM, o Heritage Building Information Modeling (HBIM), que possui como proposta a utilização do BIM na documentação e gestão do Patrimônio Arquitetônico do ponto de vista histórico (Tolentino, 2018).

2.1 Gramática da Forma

Em 1972, James Gips e George Stiny escreveram um artigo propondo uma gramática da forma que descreve a geração de formas usando uma formulação baseada em regras (Gips, 1975). Desta maneira, uma gramática da forma é definida como sendo uma tupla de 4 coordenadas: $SG = \langle V_t, V_m, R, I \rangle$, onde:

- i. V_t é um conjunto finito de formas, cujos elementos são chamados de terminais;
- ii. V_m é um conjunto finito de formas tais que $V_t \cap V_m = \emptyset$, cujos elementos são chamados de marcadores;
- iii. R é um conjunto finito de pares ordenados (u, v) tal que u é uma forma que consiste em um elemento V_t^* combinado com um elemento de V_m^+ e v é uma forma que consiste em um elemento de V_t^* combinado com um elemento de V_m^* .
- iv. I é uma forma que consiste em um elemento de V_t^* combinado com um elemento de V_m^* .

De forma simplificada, Haakonsen, Rønnquist e Labonnote (2023), descrevem as definições de Gips e Stiny para a gramática da forma em quatro componentes: (i) um conjunto finito de formas; (ii) um conjunto finito de símbolos; (iii) um conjunto finito de regras e (iv) uma forma inicial. Estas regras são aplicadas recursivamente,

possibilitando uma grande variedade de formas e o processo é encerrado quando nenhuma regra da gramática pode ser mais aplicada. Um dos exemplos da aplicação da gramática da forma descrita por Gips (1975), pode ser visto na Figura 1.

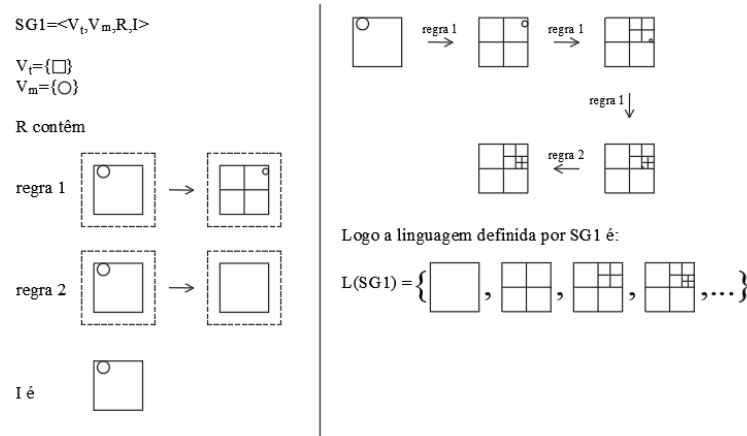


Figura 1. Exemplo de aplicação de uma gramática da forma
Fonte: Acervo do autor, adaptado de GIPS, 1975

Nesta gramática da forma, o elemento inicial é um quadrado com um pequeno círculo na parte superior esquerda, que é o marcador. Ao se aplicar a **regra 1**, o quadrado é subdividido em quatro quadrados e o marcador é deslocado com um giro de 90° no sentido horário. A regra 1 pode ser aplicada diversas vezes, resultado sempre na subdivisão do quadrado que contém o marcador e no seu giro. Para finalizar é necessário aplicar a **regra 2**, que retira o marcador e as subdivisões do quadrado atual. Após a aplicação da regra 2 não é possível retomar o processo pois não há mais uma forma onde as regras possam ser aplicadas.

Para Gips (1975), a gramática da forma poderia ser utilizada para gerar ou analisar formas. Em 1999, Gips (1999), escreveu um artigo com diversos questionamento sobre o uso computacional da gramática da forma e descreveu quatro programas para a sua aplicação, sendo um deles um programa CAD para gramáticas da forma que seria responsável por auxiliar o usuário a gerar gramáticas da forma através de ferramentas sofisticadas. Sobre o pedido de Gips a respeito do programa CAD, Ulrich Flemming relatou que esperava que alguém encontrasse uma implementação robusta de um interpretador de gramática da forma parametrizada (Gips, 1999). A parametrização esperada por Flemming, se tornou possível atualmente através dos avanços da computação gráfica, em especial a metodologia BIM, que pode incorporar as regras de parametrização através de algoritmos.

2.2 Implementação da Gramática da Forma

Para realizar testes de implementação da gramática da forma, utilizou-se o estudo de Blömker (2017) que realiza uma análise da Villa Savoye, projetada pelo arquiteto modernista Le Corbusier, apresentando uma série de regras matemáticas utilizadas na concepção do projeto. Segundo Blömker (2017), apesar da Villa Savoye possuir um módulo quadrado, a sua planta é retangular, tendo nas fachadas principal e posterior um módulo retangular de 4,75×1,19m. O menor lado desse módulo retangular equivale a aproximadamente 1/4 do lado do módulo principal. A forma como estes módulos se organizam pode ser descrita como a gramática da forma da Figura 2.

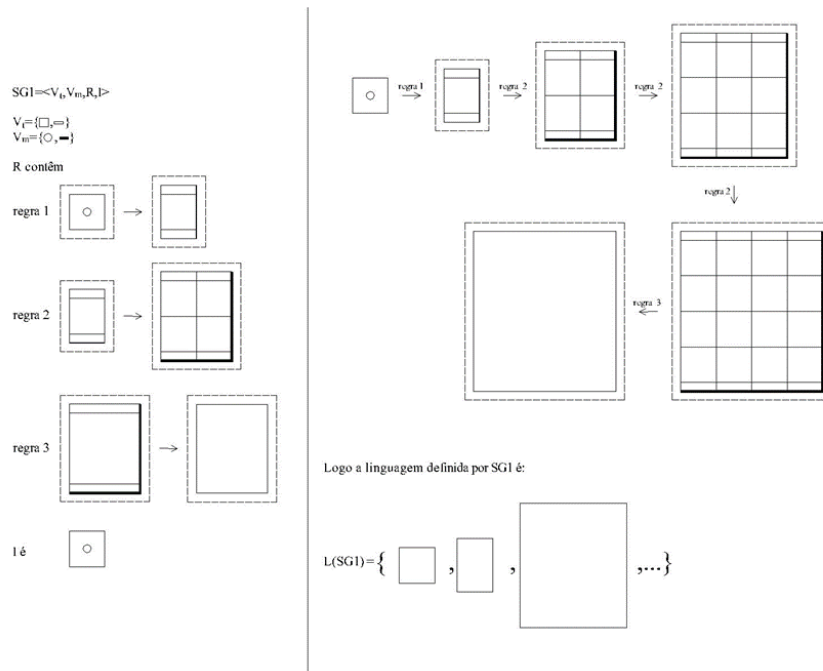


Figura 2. Gramática da forma da geração da planta da Villa Savoye
 Fonte: Acervo do autor, 2024

A **regra 1** é usada para iniciar a geração dos retângulos com a proporção da Villa Savoye, porém utilizando somente um módulo. Como marcador, esta regra possui uma linha mais forte na aresta esquerda e inferior do retângulo. A **regra 2** insere uma “camada” de quadrados e retângulos na mesma posição do marcador gerando assim outro retângulo com as proporções da Villa Savoye. A quantidade de módulos deste novo retângulo dependerá da quantidade de vezes que a regra 2 foi utilizada. A **regra 3** tem como objetivo finalizar o processo, criando um retângulo sem as subdivisões dos módulos e retirando o marcador. Ao ser utilizada torna-se impossível gerar novos retângulos. O conjunto $L(SG1)$ apresentado ao final possui, com exceção do primeiro elemento, retângulos com a mesma proporção da planta da Villa Savoye.

A gramática da forma, como defendido por Gips (1975), pode ser utilizada no desenvolvimento de algoritmos que gerem parametrizações de elementos BIM, por exemplo. O algoritmo **Proporcao_VillaSavoye** possui como base a gramática da forma da Figura 2, tendo como objetivo gerar uma malha de eixos que atendam a proporção da Villa Savoye. Neste algoritmo o usuário insere qualquer dimensão para o módulo (m), e não somente o valor de 4,75m usado por Le Corbusier (linha 2) e informa também a quantidade de módulos (k) que deseja na sua planta (linha 3). Na linha 4 é calculada a raiz de k , que será usada como fator de proporção (n), este deve ser um valor inteiro. Se n for um número inteiro são criados eixos para visualização dos módulos com a proporção da Villa Savoye (linhas 7-13). Caso o usuário tenha informado um número de módulos cuja raiz não é um número inteiro, por exemplo $k = 15$, o algoritmo faz uma correção usando o piso de n (linhas 15-23) garantindo assim que, seguindo a malha formada pelos eixos se construa uma planta com as proporções da Villa Savoye. As coordenadas para inserção dos eixos (linhas 12-13 e 21-22) foram definidas tendo como informação que o retângulo que representa a projeção superior da Villa Savoye tem como lados $k \cdot m$ e $\frac{m}{4} + k \cdot m + \frac{m}{4}$.

Algoritmo: Proporcão_VillaSavoye**Variáveis:**

m : dimensão do módulo (float);
 k : quantidade de módulos (int);
 n : fator de proporção (float);
 k' : quantidade de módulos corrigido (int);
 n' : fator de proporção corrigido (int);

```

1  Início
2   $m \leftarrow$  dimensão do módulo;
3   $k \leftarrow$  quantidade de módulos;
4   $n \leftarrow \sqrt{k}$ ;
5  Inserir eixo vertical em (0,0);
6  Inserir eixo horizontal em (0,0);
7  Se ( $n$  inteiro) então:
8      Para ( $i$  de 1 até  $n$ ) faça:
9          Inserir eixo vertical em (0,  $n \cdot m$ );
10         Inserir eixo horizontal em ( $n \cdot m$ , 0);
11     Fim para
12     Inserir eixo horizontal em ( $-m/4$ , 0);
13     Inserir eixo horizontal ( $m \cdot (4 \cdot n + 1)$ )/4, 0;
14 Senão
15      $n \leftarrow \lfloor n \rfloor$ ;
16      $k' \leftarrow (n')^2$ ;
17     Para ( $i$  de 1 até  $n'$ ) faça:
18         Inserir eixo vertical em (0,  $n' \cdot m$ );
19         Inserir eixo horizontal em ( $n' \cdot m$ , 0);
20     Fim para
21     Inserir eixo horizontal em ( $-m/4$ , 0);
22     Inserir eixo horizontal ( $m \cdot (4 \cdot n' + 1)$ )/4, 0;
23     Escrever “Para manter as proporções da Villa Savoye, a quantidade de módulos foi ajustada para  $k'$ ”.
24 Fim Se
25 Fim
  
```

O ArchiCAD é um software que atende as características da metodologia BIM e que possui uma interface para programação de objetos geométricos parametrizados de acordo com a linguagem de programação GDL (Geometric Description Language), que é uma linguagem de programação baseada em Basic e Geometria Descritiva. A Graphisoft, desenvolvedora do ArchiCAD, disponibiliza a documentação necessária para auxiliar o programador na sintaxe do GDL, apresentando exemplos de trechos de códigos. A partir da versão 27 do ArchiCAD a interface de programação recebeu melhorias, tornando a programação mais ágil. São elas:

- Numeração das linhas;
- Destaque da sintaxe, acentuando os diferentes elementos do código com cores diferentes;
- Alto preenchimento de comandos e funções e
- Possibilidade de alternar entre o Modo claro e escuro.

Utilizando o algoritmo **Proporção_VillaSavoye** foi criado um código em GDL que gera um grupo de linhas que formam uma malha com as proporções da Vila Savoye. A Figura 3a apresenta a interface de programação do GDL, que divide a programação em trechos que devem ser acessados de acordo com os botões do lado esquerdo. Para definir as variáveis deve-se clicar no botão “Variáveis”, abrindo a janela da Figura 3b. Como o objeto gerado pelo algoritmo **Proporção_VillaSavoye** deve ser visualizado na vista 2D, somente nesta opção foi inserido um código (Figura 3c). Para os casos de objetos tridimensionais deve ser gerado um código para a visualização 2D e outro para a visualização 3D. Caso se deseje inserir configurações adicionais na interface do usuário (Figura 3d), o botão “Interface” deve ser utilizado para realização da programação, o que não foi

necessário neste caso. É possível ainda ter uma pré-visualização do objeto gerado através dos botões “vista 2D” e “vista 3D”.

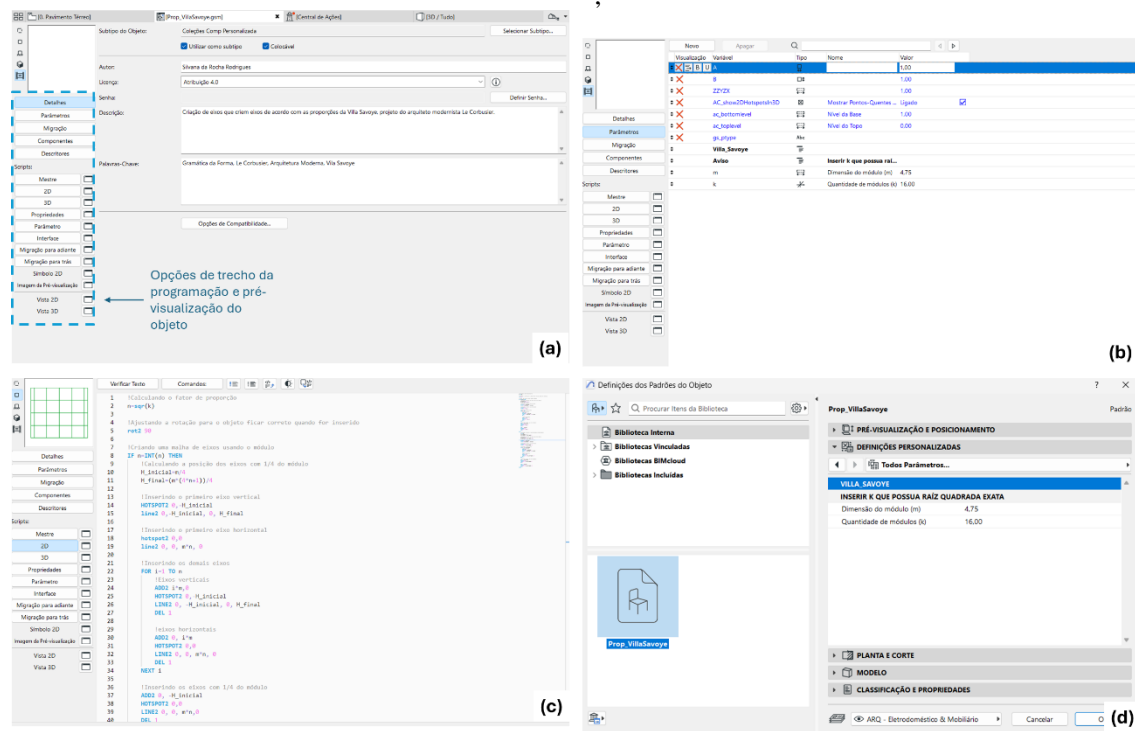


Figura 3. Programação do GDL. (a) Tela principal; (b) Tela das variáveis; (c) Tela da programação de visualização 2D e (d) Interface do usuário

O novo objeto poderá ser acessado na paleta de ferramentas do ArchiCAD na seção “Objetos”. Após inserir as informações da sua malha, o usuário pode clicar na área de navegação para inseri-la (Figura 4).

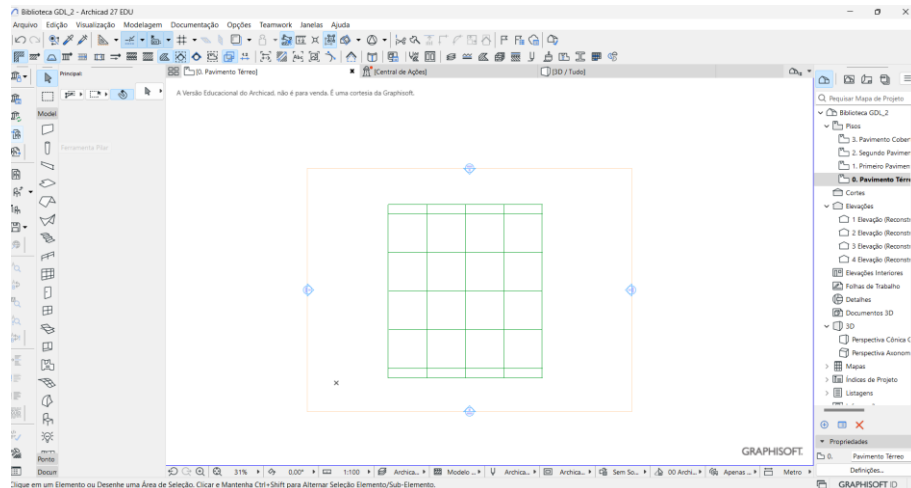


Figura 4. Interface do ArchiCAD com a malha gerada pela programação em GDL

Ao finalizar a programação o código pode ser salvo na “Biblioteca de Objetos” do ArchiCAD (Figura 5a), ficando o novo objeto disponível para uso no arquivo. Caso o usuário deseje salvar o arquivo no seu computador para uso posterior ou distribuição, o objeto pode ser exportado usando o “Gestor da Biblioteca” (Figura 5b).

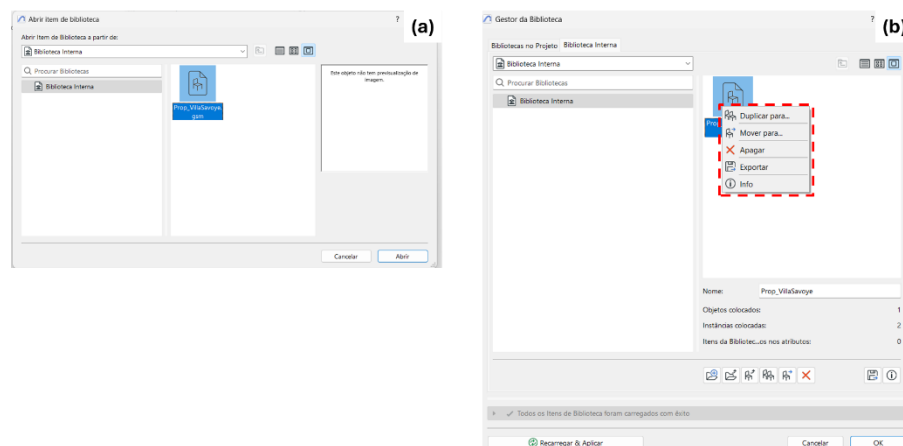


Figura 5. Biblioteca de Objetos. (a) Janela da Biblioteca de Objetos e (b) Janela do Gestor da Biblioteca

3. CONCLUSÃO

A preservação da arquitetura moderna brasileira é um desafio complexo que exige uma abordagem multidisciplinar, integrando aspectos históricos, culturais e tecnológicos. Este artigo demonstrou como métodos computacionais sofisticados, como a gramática da forma e a metodologia HBIM, podem ser aplicados de forma eficaz para garantir a documentação e a preservação de edificações modernistas, que são marcos significativos da arquitetura moderna.

A gramática da forma apresenta-se como uma ferramenta poderosa na reprodução precisa de características arquitetônicas verificadas após análise dos projetos. Como exemplo de sua aplicação, foi gerado um algoritmo, **Proporcao_VillaSavoye**, que ao ser implementado em GDL evidenciou que a integração de soluções computacionais na preservação do patrimônio arquitetônico não só facilita a gestão e documentação desses bens, mas também proporciona novas possibilidades de análise e estudo das características formais dessas construções.

Além disso, a utilização do HBIM na preservação do patrimônio permite que a memória arquitetônica seja mantida de forma dinâmica e acessível, contribuindo para a educação, a pesquisa e a gestão de patrimônios históricos. A metodologia HBIM, ao incorporar parâmetros históricos e construtivos em modelos digitais, oferece um recurso valioso para a conservação preventiva e para intervenções futuras, garantindo que as intervenções feitas nas edificações sejam embasadas em dados precisos e contextualizados.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- Blömkler, A., (2017). *Vila Savoye e Casa Curutchet: Dos cinco aos dez pontos corbusianos*, Porto Alegre: Tese de Doutorado em Arquitetura - Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Cabral, M. C. N., (2019). *Paisagem do abandono: Grandes edificações modernas inativas*. Salvador, 13º DOCOMOMO Brasil.
- Canuto, C. L., (2017). *Modelo BIM e proposta de intervenção no palácio Gustavo Capanema, Rio de Janeiro - RJ: Pela preservação digital do patrimônio moderno*, Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado em Projeto e Patrimônio - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

- Canuto, C. L. & Salgado, M. S., (2020). Modelo BIM do Palácio Gustavo Capanema 1937-1945: Pela preservação digital do patrimônio moderno. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, Volume n. 1, pp. 101-116.
- Cartas Patrimoniais, (2009). *Carta de Londres*. [Online] Available at: https://londoncharter.org/fileadmin/templates/main/docs/london_charter_2_1_pt.pdf [Acesso em 29 ago. 2024].
- Cartas Patrimoniais, (1989). *Declaração de São Paulo*. [Online] Available at: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Declaracao%20de%20Sao%20Paulo%201989.pdf> [Acesso em 28 ago. 2024].
- Corbusier, L., (2002). *Por uma arquitetura*. 6ª ed. São Paulo: Perspectiva.
- Gips, J., (1975). *Shape Grammars and their uses: Artificial perception, shape generation and computer aesthetics*. Stuttgart: Birkhauser Verlag.
- Gips, J., (1999). Computer implementation of shape grammars. *Workshop on Shape Computation*.
- Haakonsen, S. M., Rønquist, A. & Labonnote, N., (2023). Fifty years of shape grammars: A systematic mapping of its application in engineering and architecture. *International Journal of Architectural Computing*, v. 21(n. 1), pp. 5-22.
- Klessel, C., (2022). Vanguarda efêmera: Arquitetura neocolonial na Semana de Arte Moderna de 1922. *Estudos Históricos*, Volume n. 30, pp. 110-128.
- Oksaman, S., (2017). *Contradições na preservação da Arquitetura Moderna*, São Paulo: Tese de doutorado em Arquitetura e Urbanismo - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - Universidade de São Paulo.
- Simeone, D., Stefano, C. & Acierno, M., (2019). BIM Semantic-enrichment for Built Heritage Representaion. *Automation in Construction*, Volume n. 97, pp. 121-127.
- Tolentino, M. M. A., (2018). *A utilização do HBIM na documentação, gestão e na preservação do Patrimônio Arquitetônico*, Rio de Janeiro: Tese de doutorado em Arquitetura e Urbanismo - Programação de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - Universidade da Bahia.