

A GRAMÁTICA DA FORMA COMO METODOLOGIA DE ANÁLISE E SÍNTESE EM ARQUITETURA

**Gabriela
CELANI**

Arquiteta e Ph. D. em *Design & Computation* pelo MIT. Professora em cursos de Graduação e Pós-Graduação da FEC/Unicamp. Os demais autores são seus orientandos e desenvolvem dissertações com o uso da gramática da forma e gramática da cor como metodologia de análise e síntese. Principais publicações da autora: CELANI, M. G. C. ECAADE'23: A busca de novos paradigmas para a geração da forma arquitetônica assistida pelo computador. *Vitruvius/Drops*, São Paulo, v. 6, n. 13, 2006.

CELANI, M. G. C.; PUPO, Regiane; PINHEIRO, Érica; MENDES, Gelly. Generative design systems for housing: An outside-in approach. In: ECAADE'23: Digital design: the quest for new paradigms. Lisboa: Dossier, Comunicação e Imagem, 2005. p. 501-506.

CELANI, M. G. C. Uma introdução ao *computational design* e às *shape grammars* na arquitetura e no desenho industrial. *Interpretar Arquitetura*, Belo Horizonte, v. 7, 2004.

**Débora
CYPRIANO**

Arquiteta. Mestranda em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas – Campinas, Brasil.

E-mail: debora_cypriano@hotmail.com

**Giovana
DE GODOI**

Tecnóloga em Construção Civil. Mestranda do Programa de Mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas – Campinas, Brasil. *E-mail:* giovanagodoi@yahoo.com.br

**Carlos Eduardo
V. VAZ**

Arquiteto. Mestrando no Programa de Mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas – Campinas, Brasil.

E-mail: carlosvazoo@yahoo.com.br

➔ **Resumo**

O objetivo deste artigo é introduzir ao público brasileiro o formalismo conhecido como gramática da forma (*shape grammar*), apresentando suas origens e tipos. São sugeridas referências para o estudo da gramática da forma. Alguns exemplos de aplicações em análise e síntese no campo da arquitetura são apresentados. Em seguida, são descritos alguns casos recentes de emprego da gramática da forma no Brasil, como metodologia de análise em pesquisas acadêmicas. Finalmente, discutem-se as vantagens e desvantagens do uso da gramática da forma nesse tipo de estudo.

➔ **Palavras-chave**

Gramática da forma; *shape grammar*; *computational design*.

➔ **Abstract**

The present paper aims at introducing, to the Brazilian public, a formalism known as shape grammar, presenting its origins and types. References for the study of shape grammars are suggested. Some examples of applications in analysis and synthesis in the field of architecture are presented. Next, a few recent cases of the use of shape grammars as an analytical methodology in academic researches in Brazil are described. Finally, shape grammar's advantages and disadvantages in this type of study are discussed.

➔ **Key words**

Shape grammar; computational design.

INTRODUÇÃO

O formalismo conhecido como gramática da forma (do inglês *shape grammar*) foi desenvolvido no início da década de 70 por George Stiny e James Gips (1972). Ele consiste em um sistema de geração de formas baseado em regras e tem suas origem no sistema de produção do matemático Emil Post (1943) e na gramática generativa do lingüista Noam Chomsky (1957).

O sistema de Post consistia na substituição de caracteres em uma seqüência de letras com o objetivo de geração de novas seqüências. As teorias de Post tiveram diversas aplicações no decorrer do séc. XX, entre elas os fractais e as gramáticas formais. Uma gramática formal é uma estrutura computacional capaz de descrever uma linguagem formal por meio de regras e de um alfabeto. As gramáticas formais podem ser do tipo generativa ou analítica. A gramática generativa, desenvolvida por Chomsky (1957) nos anos 50, consiste em um conjunto de regras por meio das quais podem-se gerar todas as seqüências de palavras (frases) válidas em uma linguagem, por meio de substituições a partir de um símbolo inicial. Em uma gramática analítica, por outro lado, o processo se reverte, e, a partir de uma seqüência dada de palavras, são feitas reduções sucessivas. O resultado é uma variável booleana do tipo “sim” ou “não”, que indica se a seqüência original pertence ou não à linguagem descrita pela gramática.

A partir das idéias acima, Stiny e Gips (1972) desenvolveram um sistema semelhante, porém baseado em formas geométricas e transformações euclidianas, ao invés de símbolos matemáticos e substituição de caracteres. As principais operações utilizadas nas regras de uma gramática da forma são a translação, a rotação, o espelhamento e a roto-translação. Além disso, é possível também adicionar e remover formas e aplicar a transformação escalar, para que uma mesma regra possa ser aplicada a figuras semelhantes, porém de diferentes tamanhos (figura 1).

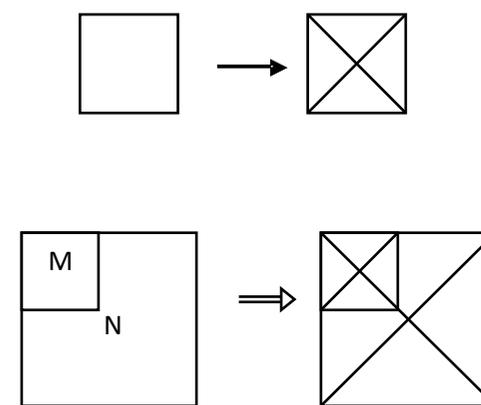


Figura 1:
Regra que insere um “X” em um quadrado e sua aplicação em dois quadrados (M e N) com escalas diferentes

O objetivo inicial da gramática da forma era servir de sistema de geração de formas para a pintura e a escultura. Ao invés de projetar diretamente sua pintura ou escultura, o artista projetaria suas regras de composição, sendo então capaz de combiná-las de diferentes maneiras e, assim, criar uma variedade de obras de arte.

A gramática da forma se insere em uma área do conhecimento designada, internacionalmente, *design computing*, ou *computational design*. Apesar de o nome remeter ao uso de computadores, o *design computing* não consiste, necessariamente, na implementação de aplicativos em computador ou no uso da programação, implicando, simplesmente, uma maneira de pensar sobre o projeto de

O objetivo inicial da gramática da forma era servir de sistema de geração de formas para a pintura e a escultura. Ao invés de projetar diretamente sua pintura ou escultura, o artista projetaria suas regras de composição, sendo então capaz de combiná-las de diferentes maneiras e, assim, criar uma variedade de obras de arte.

maneira lógica e matemática. A palavra em inglês *computation* refere-se a qualquer tipo de processamento de informações, incluindo desde a realização de operações elementares até o estudo do raciocínio humano. Ainda assim, diversos pesquisadores têm se dedicado ao desenvolvimento de aplicativos para a automação da gramáticas da forma.

A bibliografia sobre a gramática da forma tem sido publicada principalmente em um periódico especializado britânico de seletiva política editorial, o *Environment and*

Planning B, que não se encontra disponível no portal da Capes. Além disso, são poucas as bibliotecas no Brasil que possuem assinatura desse periódico. Algumas possuem apenas volumes mais antigos, e, aparentemente, nenhuma biblioteca brasileira possui a coleção completa, o que dificulta a pesquisa sobre o assunto. Referências importantes sobre o tema também podem ser encontradas no livro *The logic of architecture* (MITCHELL, 1990), que, em breve, será lançado em português no Brasil, sob o título *A lógica da arquitetura*. Outras referências importantes são os livros *Transformations in Design* (KNIGHT, 1981) e *Shape* (STINY, 2006), lançado neste ano pela MIT Press.

Algumas informações sobre a gramática da forma e uma lista completa das referências bibliográficas sobre o assunto podem ser encontradas no site www.shapegrammar.org. Nesse site, é de especial interesse o link para o primeiro trabalho na área, citado acima, o artigo de Stiny e Gips apresentado no congresso IFIP de 1971. Outra referência disponível em meio eletrônico, que se destaca por sua abrangência sobre o tema, é o artigo publicado por Knight no *International Journal of Design Computing*.

ELEMENTOS DE UMA GRAMÁTICA DA FORMA

Uma gramática da forma é desenvolvida a partir da definição dos seguintes elementos:

1. **Vocabulário de formas** (figura 2) – Em primeiro lugar, é preciso definir um conjunto finito de formas primitivas que farão parte da gramática. Essas formas podem ser bi ou tridimensionais.



Figura 2:
Exemplo de um vocabulário de formas

2. **Relações espaciais** (figura 3) – Em seguida, são estabelecidas as combinações espaciais desejadas entre as formas primitivas do vocabulário.

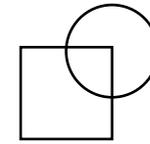


Figura 3:
Exemplo de uma relação espacial entre duas formas do vocabulário

3. **Regras** (figura 4) – A partir das relações espaciais, são definidas regras de transformação do tipo A → B (ao encontrar A, substitua por B). Essas regras podem ser do tipo aditivas ou subtrativas.

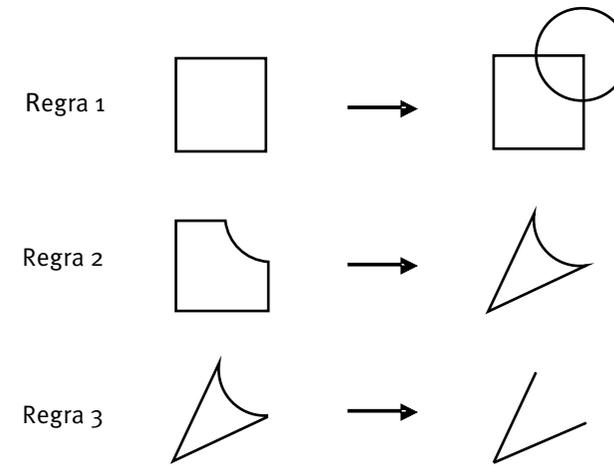


Figura 4:
Exemplo de regras de adição, substituição e subtração

4. Forma inicial para dar início à aplicação das regras, é necessário selecionar uma forma inicial, pertencente ao vocabulário de formas.

Após a definição dos elementos acima, tem início uma iteração, ou seja, a aplicação sucessiva de regras sobre a forma inicial selecionada, até que se obtenha a composição desejada.

A aplicação de uma regra ocorre em duas etapas (figura 5): Em primeiro lugar, é necessário fazer o reconhecimento de uma subforma da composição, em andamento, idêntica à forma do lado esquerdo da regra que se deseja aplicar. Em seguida, essa subforma é substituída pela forma presente no lado direito da regra. Esse processo é repetido sistematicamente para cada nova regra que se deseja aplicar. Nessa primeira etapa, ocorre, freqüentemente, que a subforma identificada é resultante da combinação de outras formas. A esse fenômeno dá-se o nome de emergência.

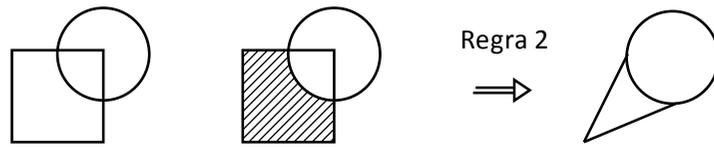


Figura 5:
As duas etapas da aplicação de uma regra: identificação da forma e aplicação da regra

A maior dificuldade, encontrada na implementação computacional de gramáticas da forma, reside, precisamente, na identificação de figuras emergentes. A figura 6, por exemplo, mostra a sobreposição dos quadrados A e B, o que resulta no quadrado menor C. Esse quadrado menor, que emerge da sobreposição dos dois quadrados maiores, pode ser facilmente identificado pelo cérebro humano. Contudo, sua identificação do ponto de vista computacional, implica a utilização de avançadas técnicas da inteligência artificial. Para o modelo computacional, apesar de sobrepostos, os dois quadrados maiores continuam sendo entidades independentes definidas por seus vértices, não sendo possível, portanto, aplicar regras de substituição ao quadrado menor, já que os vértices desse, resultantes da intersecção dos lados dos quadrados maiores, não foram definidos a priori.

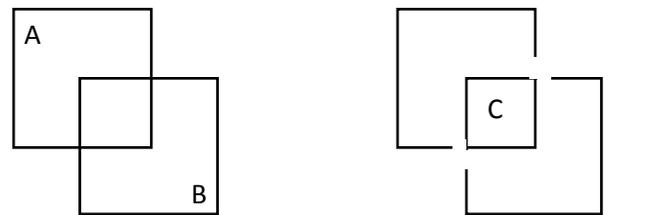


Figura 6:
Sobreposição dos quadrados A e B e emergência do quadrado C

TIPOS

Após o desenvolvimento inicial da gramática da forma, com objetivos sintéticos, seus inventores e outros pesquisadores continuaram incrementando o sistema original, acrescentando-lhe novas características e dando-lhe novas aplicações. São apresentadas a seguir, algumas variações da gramática da forma:

Gramática da forma analítica: a primeira aplicação analítica foi proposta por Stiny (1977), para a caracterização de um conjunto de regras capaz de gerar desenhos de janelas tradicionais chinesas. Trata-se de um tipo de composição muito simples, baseado na subdivisão sucessiva de retângulos. Após esse trabalho, passaram a predominar as aplicações analíticas da gramática da forma.

Gramática paramétrica: as primeiras definições de gramática da forma já sugeriam a possibilidade de que certos valores fossem deixados em aberto para serem definidos no momento da implementação. Dessa forma, é possível definir uma gramática da forma paramétrica, capaz de gerar uma enorme variedade de resultados, como no exemplo apresentado na figura 7.

Regra 1		Polígono de 3 lados → 1 Polígono de 3 lados e 1 polígono de 4 lados
Regra 2		Polígono de 4 lados → 2 Polígonos de 4 lados
Regra 3		Polígono de 4 lados → 1 Polígono de 3 lados e 1 polígono de 5 lados
Regra 4		Polígono de 5 lados → 1 Polígono de 4 lados e 1 polígono de 5 lados
Regra 5		Polígono de 4 lados → Polígono de 3 lados

Aplicação das regras

Figura 7:
Exemplo de gramática paramétrica: na gramática das janelas tradicionais chinesas, as regras definem subdivisões dos polígonos, sem definir a posição exata de sua inserção

Fonte: Stiny, 1977.

Gramática predefinida (*set grammar*): trata-se de um tipo de gramática determinística em que uma mesma regra ou uma mesma seqüência de regras é aplicada sucessivamente. Os resultados obtidos com esse tipo de gramática apresentam sempre alguma regularidade. Esse conceito foi aplicado, em especial, no artigo em que Stiny introduz a gramática da forma tridimensional utilizando os blocos de Froebel (STINY, 1980), como mostra a figura 8.

Relação espacial	Gramática da forma	
	Regras para mesma relação espacial	Posição inicial 
	Diferentes posições dos marcadores:	
	 	
	 	
	 	
	 	
	 	
	 	
	 	
	 	

Figura 8: Gramática da forma com a utilização dos blocos de Froebel: com marcadores e pré-definida

Fonte: Stiny (1980).

Gramática com marcadores: o uso de marcadores (*labels*), que nada mais são que marcas aplicadas às formas para reduzir sua ordem de simetria, restringe a maneira como as regras podem ser aplicadas, mas, por outro lado, permitem maior controle sobre os resultados. O exemplo apresentado na figura 8 utiliza marcadores.

Gramática da cor: desenvolvida por Knight (1993, 1994), essa variação da gramática da forma utiliza cores no lugar de marcadores. A maior vantagem é que elas podem ser utilizadas para a aplicação posterior de “regras de decoração”, nas quais elementos extras podem ser inseridos nas áreas coloridas.

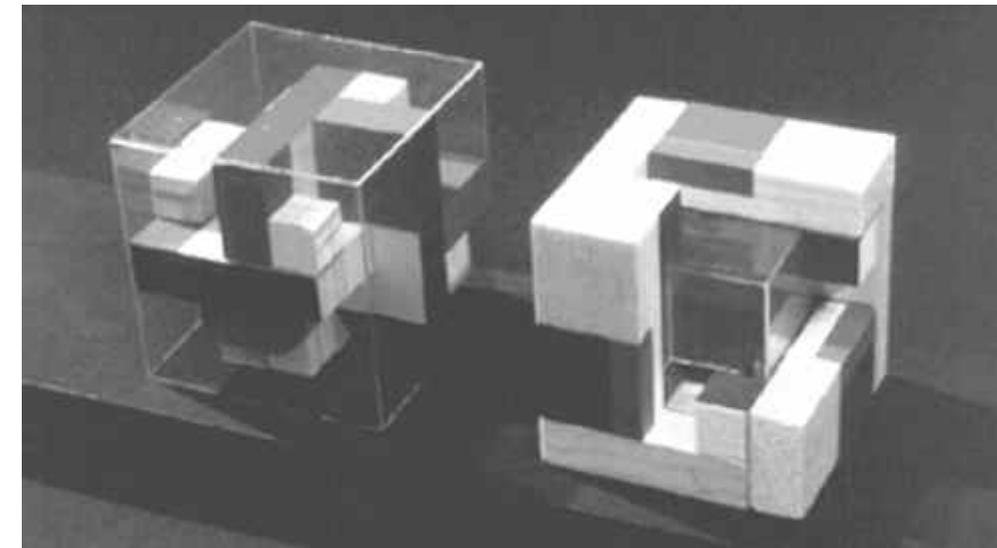


Figura 9: Gramática da cor: projeto de Wei-Cheng Chang que utiliza cores para a redução da simetria dos blocos e adição de detalhes no projeto final

Fonte: Knight (1999-2000).

APLICAÇÕES

A maioria dos trabalhos publicados sobre gramática da forma apresenta aplicações analíticas, apesar de originalmente desenvolvida com finalidades sintéticas. Esse tipo de aplicação consiste, primeiramente, em escolher um conjunto de obras arquitetônicas — ou de arte, ou ainda detalhes arquitetônicos — que, à primeira vista, guardam alguma semelhança entre si. Em seguida, são aplicados os passos apresentados no item 2 deste trabalho. Finalmente, a gramática é aplicada de maneira a gerar novos indivíduos dentro da linguagem, que serão comparados aos indivíduos originalmente selecionados.

Embora a intenção inicial de Stiny e Gips fosse a aplicação da gramática da forma nas artes plásticas, em especial na pintura e na escultura, logo se percebeu seu potencial como metodologia para o estudo de linguagens arquitetônicas. Esse método de análise formal foi empregado no estudo estilístico das vilas de Palladio (STINY; MITCHELL, 1978), dos jardins do Taj Mahal (STINY; MITCHELL, 1980a e b), das igrejas de Wren (BUELINCKX, 1993), das casas tradicionais da China (CHIOU; KRISHNAMURTI, 1995), Taiwan (CHIOU; KRISHNAMURTI, 1996) e Turquia (CAGDAS, 1996), das casas de chá japonesas (KNIGHT, 1981), das casas em estilo Queen Anne (FLEMMING, 1987), das casas da pradaria de Frank Lloyd Wright (KONING; EIZENBERG, 1981), entre outras.

A gramática da forma também tem sido empregada como sistema de geração de formas arquitetônicas, em especial no meio acadêmico. Alguns estudos, como o de Celani (2002), comprovaram que esse método tem um grande potencial pedagógico, em especial no desenvolvimento de projetos arquitetônicos em equipe, pois, nele, todos os participantes podem contribuir com a definição do vocabulário e das regras da gramática.

Apesar de ainda pouco conhecida no Brasil, a gramática da forma começou, recentemente, a ser utilizada como metodologia na análise de conjuntos de obras arquitetônicas. Dois exemplos disso são as dissertações de mestrado de Rosirene Mayer (2003) e Raquel Weber (2005), intituladas, respectivamente: “A linguagem de Oscar Niemeyer” e “A linguagem da estrutura na obra de Vilanova Artigas”, ambas desenvolvidas sob orientação do professor Benamy Turkienicz, na UFRGS. Na primeira, foi desenvolvida uma gramática da forma capaz de descrever uma coleção de obras de Oscar Niemeyer. O vocabulário de formas é composto, sobretudo, por curvas, que são transformadas em superfícies por meio de regras de translação e rotação. O segundo trabalho analisa formalmente os pilares de diversas obras de

João Vilanova Artigas. A gramática desenvolvida demonstra que, apesar de distintos, todos os pilares analisados guardavam entre si relações compositivas.

Atualmente, na FEC/Unicamp, três alunos de mestrado desenvolvem pesquisas que têm como base metodológica a gramática da forma.

Débora Cypriano propõe uma nova categorização formal de edifícios do período moderno brasileiro. Trata-se de edifícios com fachadas inclinadas. Dentro desse grupo, serão identificados pelo menos dois subgrupos: no primeiro, a forma inclinada é resultante da estrutura, como no Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro (figura 10) e no Ginásio de Guarulhos (figura 11) e, no segundo, a forma provém de um plano inclinado, como na casa do arquiteto Gil Borsoi. A comprovação da semelhança formal dos edifícios selecionados será feita por meio do desenvolvimento de uma gramática da forma analítica.

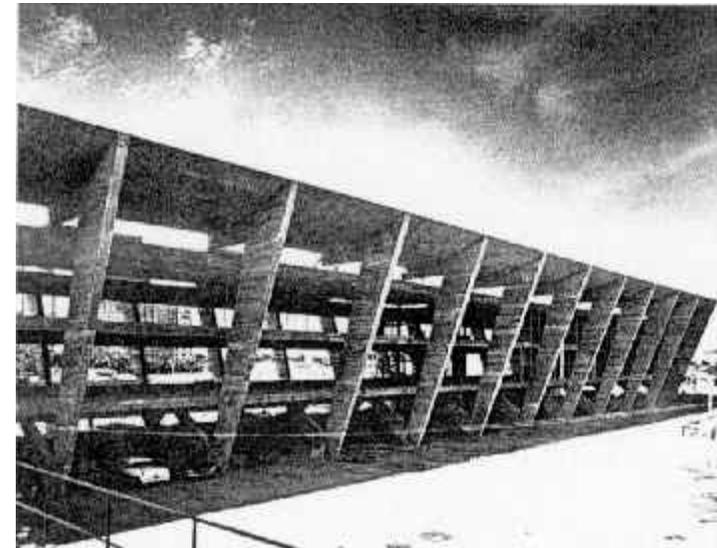


Figura 10:
Museu de Arte Moderna (RJ), 1953 – Affonso Eduardo Reidy



Figura 11:
Ginásio de Guarulhos (SP), 1960 – Vilanova Artigas

A pesquisa de Giovana de Godoi, por outro lado, utiliza a gramática da forma de maneira sintética, para implementar um sistema de simulação de tipologias urbanas em que regras de vizinhança orientarão a implantação de edifícios nos lotes. A pesquisadora pretende implementar, em VBA para AutoCad, um sistema generativo baseado em regras de legislação urbanística com o objetivo de tratar diferentemente cada lote de acordo com suas características específicas, permitindo a geração de padrões de ocupação resultantes dessas regras. Posteriormente, pretendem-se avaliar as alternativas geradas por meio da produção automatizada de maquetes físicas com equipamentos de prototipagem rápida. Além de questões como influência das construções vizinhas na iluminação e insolação de cada unidade residencial, serão avaliadas também as visuais observadas nas ruas em consequência das variações de recuos e volumetrias resultantes da aplicação das regras. A figura 12 mostra alguns estudos iniciais de regras de vizinhança ou adjacência e possíveis resultados volumétricos observáveis no nível da rua.

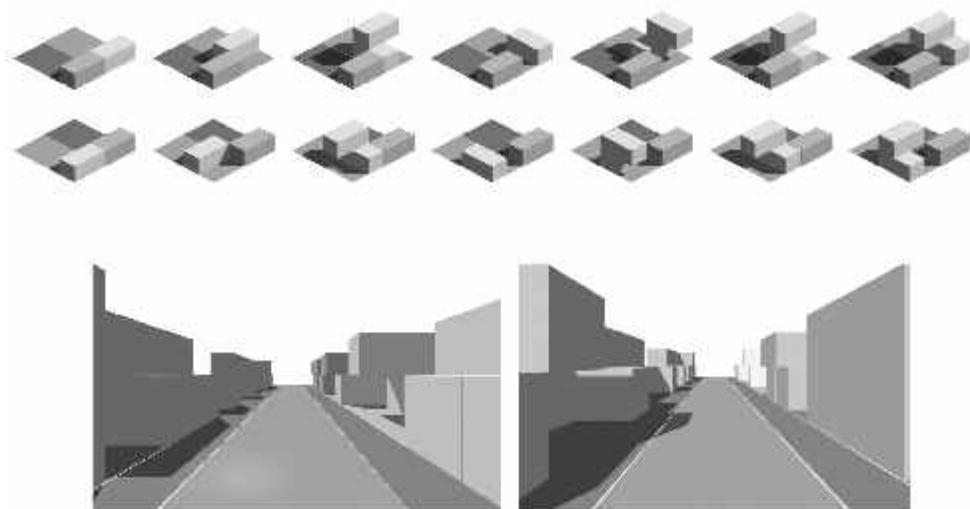


Figura 12:
Regras de vizinhança e alguns padrões de ocupação observados em uma rua

A pesquisa de Carlos Vaz visa a estabelecer uma correlação entre as diferentes linguagens formais encontradas na obra do paisagista Roberto Burle Marx. Serão analisados, por meio da gramática da forma e da gramática da cor, trabalhos elaborados pelo paisagista em diferentes fases de sua carreira, com a intenção de compreender como suas diferentes linguagens compositivas foram evoluindo, uma após a outra. Inicialmente, será necessário caracterizar cada uma das sublinguagens

existentes na obra de Burle Marx por meio do agrupamento de seus projetos segundo padrões. Em cada grupo serão identificadas formas primitivas, relações espaciais e regras de composição. Finalmente, será feita uma comparação entre as regras de cada fase do paisagista (figura 13), procurando-se caracterizar sua evolução. A principal referência desse estudo é o livro *Transformations in design*, de Knight (1994), em especial o capítulo dedicado ao estudo da evolução de frisos gregos por meio das modificações de suas regras de composição. A gramática será testada por meio da aplicação de questionários e entrevistas, nos quais se buscarão opiniões dos meios acadêmico e profissional quanto à eficiência da gramática em produzir novas formas semelhantes àquelas projetadas por Burle Marx.

DISCUSSÃO

Apesar das dificuldades na obtenção de bibliografia elementar sobre gramática da forma e do conhecimento ainda restrito do assunto no Brasil, é possível dizer, com base nos primeiros exemplos de aplicações, que esse formalismo possui grande potencial de aplicação em estudos arquitetônicos, como metodologia de análise. A principal vantagem do método é que ele é sistemático e objetivo, não deixando dúvidas quanto ao fato de um determinado exemplar pertencer ou não a uma linguagem, após a definição de sua gramática. Essa definição, contudo, exige um trabalho sério de levantamento de exemplares da linguagem que se pretende caracterizar, além de uma grande capacidade de inferência na descrição das regras de composição da gramática.

A principal crítica à gramática da forma é que ela seria uma análise meramente formalista de obras arquitetônicas, que levaria em conta apenas os aspectos gramaticais das composições, ignorando totalmente a semântica, a funcionalidade, a adequação ao sítio, enfim, todos os demais aspectos importantes para que se tenha uma boa obra arquitetônica. A crítica formalista é tão importante quanto a crítica funcionalista, principalmente se soubermos combiná-las, de modo que uma complemente a outra.

Quadro com algumas das obras de Burle Marx

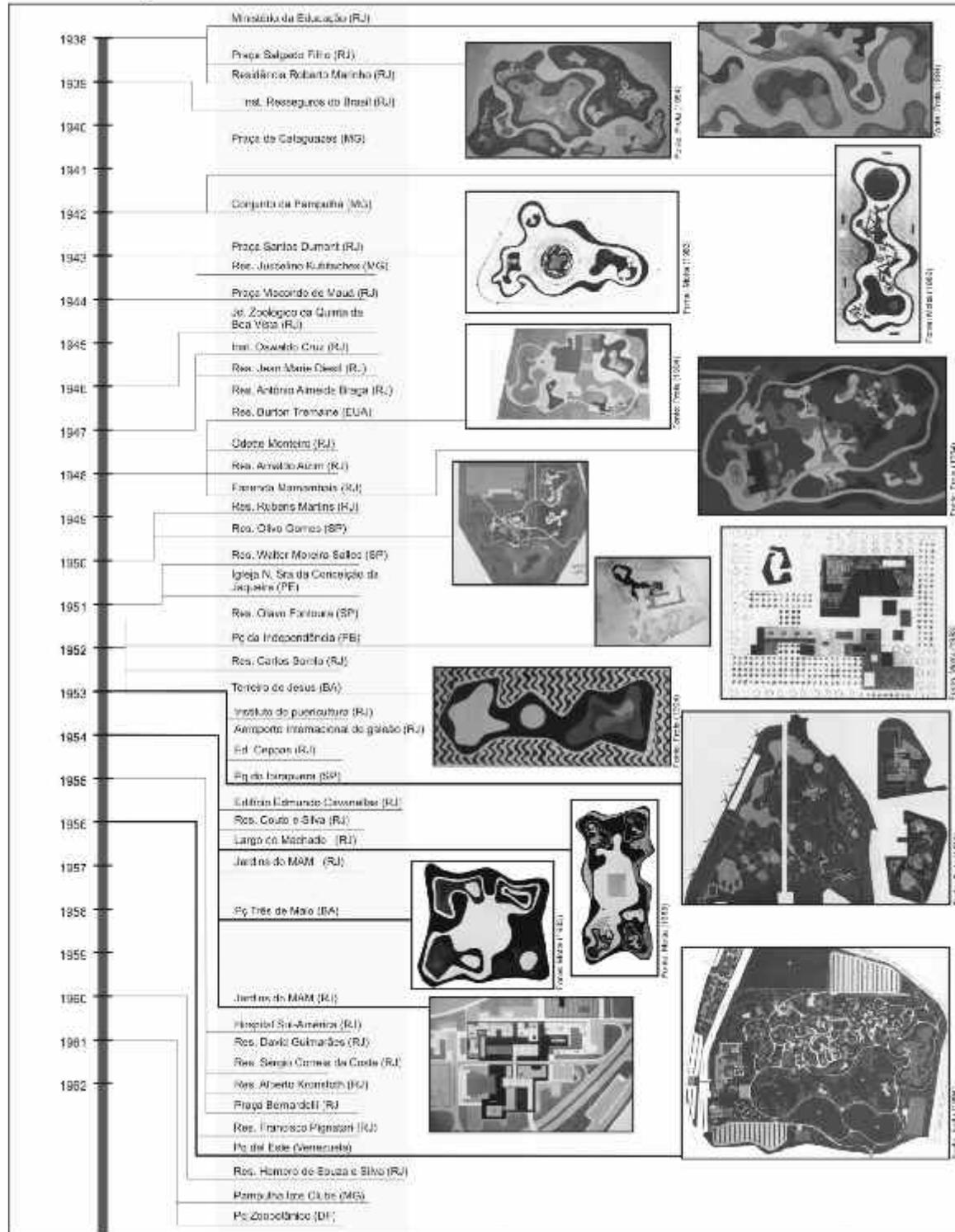


Figura 13:
Quadro analítico das principais obras de Burle Marx até a década de 60

Fonte: Carlos Vaz.

REFERÊNCIAS

BUELINCKX, H. Wren language of city church designs: a formal generative classification. *Environment and Planning B*, v. 20, p. 646-676, 1993.

CAGDAS, G. A shape grammar: the language of traditional Turkish houses. *Environment and Planning B*, v. 23, n. 4, p. 443-464, 1996.

CELANI, G. An educational experiment with shape grammars and computer applications. *International Journal of Design Computing*, v. 3, 2002.

CHIOU S. C.; KRISHNAMURTI, R. Example Taiwanese traditional houses. *Environment and Planning B*, v. 14, p. 323-350, 1996.

CHIOU, S. C.; KRISHNAMURTI, R. The grammatical basics of traditional Chinese architecture. *Languages in Design*, v. 3, p. 5-31, 1995.

CHOMSKY, N. *Syntactic structures*. The Hague: Mouton, 1957.

FLEMMING, U. More than the sum of parts: the grammar of Queen Anne houses. *Environment and Planning B*, v. 14, p. 323-350, 1987.

KNIGHT, T. W. Shape grammars and color grammars in design. *Environment and Planning B*, v. 21, p. 705-735, 1994.

KNIGHT, T. W. *Transformations in design: a formal approach to stylistic change and innovation in the visual arts*. Cambridge; England: Cambridge University Press, 1994.

KNIGHT, T. W. Shape grammars in education and practice: history and prospects. *International Journal of Design Computing*. Sydney: 1999-2000. v. 2. Disponível em: <<http://www.mit.edu/~tknight/IJDC>>.

KNIGHT, T. W. The forty-one steps: the language of Japanese tea-room designs. *Environment and Planning B*, v. 8, p. 97-114, 1981.

KNIGHT, T. W. Color grammars: the representation of form and color in design. *Leonardo*, v. 26, p. 117-124, 1993.

KONING, H.; EIZENBERG, J. The language of the prairie: Frank Lloyd Wright's prairie houses. *Environment and Planning B*, v. 8, p. 295-323, 1981.

MAYER, R. A. *A linguagem de Oscar Niemeyer*. 2003. 193 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura/UFRGS, Porto Alegre, 2003.

MITCHELL, W. J. *The Logic of Architecture*. MA: MIT Press, 1990.

POST, E. Formal reductions of the general combinatorial decision problem. *American Journal of Mathematics*, v. 65, p. 197-215, 1943.

STINY, G. Ice-ray: a note on Chinese lattice designs. *Environment and Planning B*, v. 4, p. 89-98, 1977.

STINY, G. Kindergarten grammars: designing with Froebel's buildings gifts. *Environment and Planning B*, v. 7, p. 409-462, 1980.

STINY, G.; GIPS, J. Shape grammars and the generative specification of painting and sculpture In: IFIP CONGRESS, 7., 1972, Amsterdam. *Proceedings of ...* : C. V. Freimanp. 1460-1465. Disponível em: <<http://www.shapegrammar.org/ifip/ifip1.html>>. Acesso em: 15 set. 2006.

STINY, G.; MITCHELL, W. J. The paladian grammar. *Environment and Planning B*, v. 5, p. 5-18, 1978a.

_____. The grammar of paradise: on the generation of Mughal gardens *Environment and Planning B*, v. 7, p. 209-226, 1980.

_____. Counting palladian plans. *Environment and Planning B*, v. 5, p. 189-198, 1978b.

WEBER, R. *A linguagem da estrutura na obra de Vilanova Artigas*. 2005. 115 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura/UFRGS, Porto Alegre, 2005.