

## School Grammar: An Exploration on Computational Processes in Architecture

Christian Costa de Jesus<sup>1</sup>, Margaret Chokyu<sup>1</sup>, Rafael Ferreira Diniz Gomes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil  
christianjesusrj@gmail.com; margaret.lica@fau.ufrj.br; raffa.arq@gmail.com

**Abstract.** Standard design for schools in underdeveloped countries seems to be the key to lowering the cost of the whole building process, from design to construction. But since it might not be suitable for different situations, the range of each design is limited. This paper presents a parametric algorithm intended to provide mass customized Architectural solutions for school buildings. A Shape Grammar based methodology for customized school designs is proposed. A set of rules is defined based on chosen characteristics in a corpus of analysis and then is implemented in an open-source modeling software. The algorithm proposed is able to provide solutions for different lots and number of students assisted.

**Keywords:** Shape Grammars, School Architecture, Mass Customized Design, Design Methods, Open-Source Software.

### 1 Introdução

A padronização nos projetos de arquitetura escolar tem sido a resposta mais comum à grande, e ainda crescente, demanda por escolas nos grandes centros urbanos, levando-se em consideração as vantagens do ponto de vista econômico, logístico e de construção. Porém, segundo Kowaltowski (2011), esse tipo de padronização nem sempre considera as situações locais específicas, o que pode resultar na criação de ambientes desfavoráveis, com problemas de conforto ambiental e de ajustes às condições particulares de implantação.

Uma forma interessante de olhar para este problema pode estar na crescente informatização da arquitetura que, possibilitada por novas tecnologias, ferramentas digitais e subsequentes mudanças nas relações econômicas e sociais, tem trazido à tona questões relacionadas a métodos e processos de projeto arquitetônico para as quais diversas soluções têm sido propostas, tanto no meio acadêmico quanto na indústria, as quais procuram

responder às questões relacionadas à produtividade, eficiência, gestão e colaboração de projeto.

A Gramática da Forma, como demonstrado em trabalhos como de Duarte (2005), Willis et al (2012) de Moraes et al (2014), Chokyu (2018) entre outros, tem sido uma teoria utilizada como base para aplicação de metodologias digitais que objetivam permitir a customização em massa de projetos de arquitetura. Tal teoria permite introduzir e explorar as infraestruturas computacionais nos processos de projeto, a partir de análise e crítica de precedentes projetuais consolidados, para fundamentar a inserção das novas ferramentas digitais no campo da concepção arquitetônica.

Considerando estes aspectos, este trabalho busca responder à questão das escolas-padrão ao propor uma metodologia metaprojetual, que permita a criação de projetos customizados, garantindo uma maior flexibilidade e adaptação dos edifícios aos contextos urbanos nos quais serão inseridos. O tema da customização em massa de projetos é amplamente discutido por Kolarevic e Duarte (2019), que apontam o projeto paramétrico e a fabricação digital como seus fundamentos. Entretanto, este trabalho não agrega a fabricação digital nos processos, dada a limitação para o emprego destas tecnologias no contexto local.

## **2 Uma abordagem computacional para projetos escolares**

### **2.1 Gramática da forma na análise e síntese de arquitetura**

A Gramática da Forma é um formalismo criado por George Stiny e James Gips e apresentado pela primeira vez em 1971. Baseia-se no trabalho *Syntactic Structures* (1954) do linguista Noam Chomsky, usando a mesma estrutura lógica de gramática produzida a partir de regras. Celani et al. (2006), acrescenta o sistema de produção de Émil Post (1943) entre as raízes do conceito de Stiny e Gips, que produz um elemento novo a partir de aplicação recursiva de regras sobre um inicial. A Gramática da Forma emprega formas no lugar de símbolos com uso de operações booleanas na definição das regras.

De acordo com Knight (1999), as Gramáticas da Forma podem ser analíticas ou sintéticas, sendo as primeiras originadas a partir do estudo de um corpus de análise. Segundo Chokyu (2018), busca-se a recorrência de padrões de composição entre os elementos do corpus para a definição das regras. Com relação às sintéticas, Knight (op.cit) comenta que é possível a criação de uma Gramática original em ateliê, mas que na prática o que se observa é a produção de novas a partir de outra existente.

No presente trabalho, a proposta parte da elaboração de uma gramática base a partir de um corpus de análise selecionado. Desta gramática serão

selecionadas regras que possibilitem a conformação de projetos que sejam ao mesmo tempo customizados e padronizados.

Foram selecionados projetos de escolas públicas nas cidades do Rio de Janeiro e de São Paulo para essa Gramática. Desenvolveu-se uma metodologia de análise computacional para extrair regras de composição. Uma gramática da forma inicial foi elaborada com as regras inferidas, buscando-se caracterizar os elementos do corpus. Essa foi alterada de forma a atender as diretrizes.

## **2.2 Histórico e estado da arte no projeto de escolas-padrão públicas no Brasil**

No Brasil, durante o século XX, houve um longo processo de urbanização das cidades que gerou um aumento populacional considerável. A demanda crescente por escolas, existente até os dias atuais, justificou a escolha predominante por projetos padronizados, principalmente a partir da década de 1960, e tiveram seu auge a partir da década de 1980 com os CIEPs e CAICs e os CEUs, projetos escolares de grande porte com processos construtivos racionalizados que visavam a replicabilidade.

Esses projetos padronizados, embora apresentassem vantagens do ponto de vista econômico e construtivo, tiveram também, pela própria natureza, pouca flexibilidade quanto a adaptação aos contextos específicos. Além disso, grande parte desses projetos priorizaram a quantidade e economia de construção em detrimento da qualidade. Seu programa costuma ser reduzido, com poucos ambientes além das salas de aula, espaços livres cobertos ou espaços para prática de esportes, quando há espaço no lote, que em determinados casos são acrescentados posteriormente de forma pouco planejada à medida que a demanda e novos paradigmas educacionais surgem.

No estado de São Paulo, fruto do trabalho implantado em 1976 pela Companhia de Construções de São Paulo (Conesp), foram desenvolvidos catálogos e normas para construção racionalizada de escolas. Tais documentos tinham como objetivo orientar e pautar a concepção de escolas que seriam projetadas por escritórios de arquitetura contratados pelo governo. O sistema foi elaborado pela FDE (Fundação para o desenvolvimento da Educação) que atualmente estabelece critérios e normas para a produção de projetos de escolas públicas no Estado de São Paulo. Os projetos realizados por diferentes escritórios de arquitetura seguem os padrões construtivos definidos pela FDE, com adaptações para cada contexto, o que permite a criação da arquitetura escolar com maior qualidade, se comparado com que a estrutura do projeto padrão 'carimbo', presente na realidade de muitos municípios no Brasil, incluindo o Rio de Janeiro com o projeto mais recente, as Escolas do Amanhã.

### **2.3 Elaboração da gramática**

O objetivo desta pesquisa é explorar como os conceitos da gramática da forma podem ser trabalhados dentro dos emergentes ambientes de programação visual voltados à arquitetura, de forma a reconhecer os potenciais e limitações desses recursos teóricos e tecnológicos na criação de processos de projeto mais abertos. Desse modo, foi escolhido um corpus de análise composto por projetos de escolas públicas de nível fundamental, a partir do qual foram observados padrões relativos à estrutura espacial, setorização, partido e dimensionamento de espaços, considerando inclusive as soluções e técnicas construtivas adotadas.

A partir dos padrões encontrados foram criados paralelamente um conjunto de regras gráficas e um modelo paramétrico utilizando o Sverchok, software de modelagem paramétrica, extensão do software de modelagem Blender, ambas ferramentas livres e de código aberto. Dessa forma, enquanto o conjunto gráfico de regras visuais orienta a organização do algoritmo, o modelo paramétrico permite iterar rapidamente entre os diversos resultados possíveis da gramática através da escolha de certos parâmetros, facilitando a sua utilização como ferramenta de projeto.

### **2.4 Corpus de análise**

As escolas escolhidas para compor o corpus de análise estão divididas em dois tipos que foram analisados com propósitos diferentes: (1) Os últimos três projetos de escola padronizadas realizados no município do Rio de Janeiro, com o objetivo de entender como ocorre o processo de concepção das escolas no município e quais as características específicas e as críticas feitas quanto aos espaços existentes; (2) Os projetos realizados pela FDE (Fundação para o desenvolvimento da Educação) no estado de São Paulo, pela qualidade no processo de produção de projetos de escolas públicas no cenário nacional, que embora não sejam projetos padronizados com a mesma lógica que os encontrados no município do Rio de Janeiro, seguem diversos padrões e um processo de projeto determinado pela FDE.

Tabela 1. Escolas do município do Rio de Janeiro.

Escola	Unidades Construídas	Período de Construção	Autores do Projeto	Gabarito	n° Salas
CIEPs	506	1983 a 87 e 1991 a 94	Oscar Niemeyer	3 a 4	18
Escolas Modulares Padrão	21	2001 a 2008	RioUrbe	3	13
Escolas do Amanhã	16	2009 a 2016	RioUrbe	3	24

Fonte: Acervo dos autores, 2020

Tabela 2. Escolas da FDE do Estado de São Paulo.

Escola	Localização	Ano	Autores do Projeto	Gabarito	n° de Salas de Aula
E.E Ilha da Juventude	Vila Brasilândia, SP	2011	METRÓPOLE Arq.	4	12
E.E. Telemaco Melges	Campinas, SP	2004	UNA Arquitetos	3	13
Várzea Paulista	Várzea Paulista, SP	2008	FGMF Arquitetos	3	10
Nova Cumbica	Guarulhos, SP	2014	H+F Arquitetos	4	15

Fonte: Acervo dos autores, 2020

Os projetos selecionados também estão localizados em zonas urbanas com diversas características semelhantes, predominantemente residenciais com densidade urbana média (edificações que possuem em média 2 a 3 pavimentos). Tal contexto urbano justifica a tipologia escolar de “bloco compacto” verticalizado, muitas vezes com quadra no topo quando não há espaço no terreno.

Com exceção dos CIEPS, todos os projetos foram construídos entre 2001 e 2016. Os CIEPs foram incluídos pois trata-se de uma tipologia que foi largamente replicado por todo o Estado do Rio de Janeiro e por seu caráter icônico que o torna provavelmente um dos projetos mais marcantes quando se trata do tema da arquitetura escolar padronizada no Brasil, que certamente influenciou a adoção desse sistema nos demais projetos que vieram a seguir.

É possível observar que existem similaridades entre os projetos, embora os novos projetos tenham abandonado de certo modo a linearidade funcionalista dos CIEPs em prol de uma organização mais aut centrada, com

espaços dispostos em uma lógica de ferradura, mais adaptada com a teoria pan-óptica descrita por Foucault (1999/1975). Esta organização é comumente observada em edifícios escolares de forma geral, que busca alcançar uma maior vigilância e controle social. Para além disso, os novos pátios centrais cobertos dos projetos mais recentes, além de permitirem que o edifício como um todo seja mais independente do entorno ao negá-lo, também potencializam problemas acústicos (Oliveira Goes et al, 2011).

Contemporâneos aos dois últimos projetos padronizados cariocas, os projetos de São Paulo mediados pela FDE foram projetados especificamente para cada terreno por diferentes escritórios de arquitetura paulistas de grande notabilidade (Palermo, 2021; Gimenez, 2005).

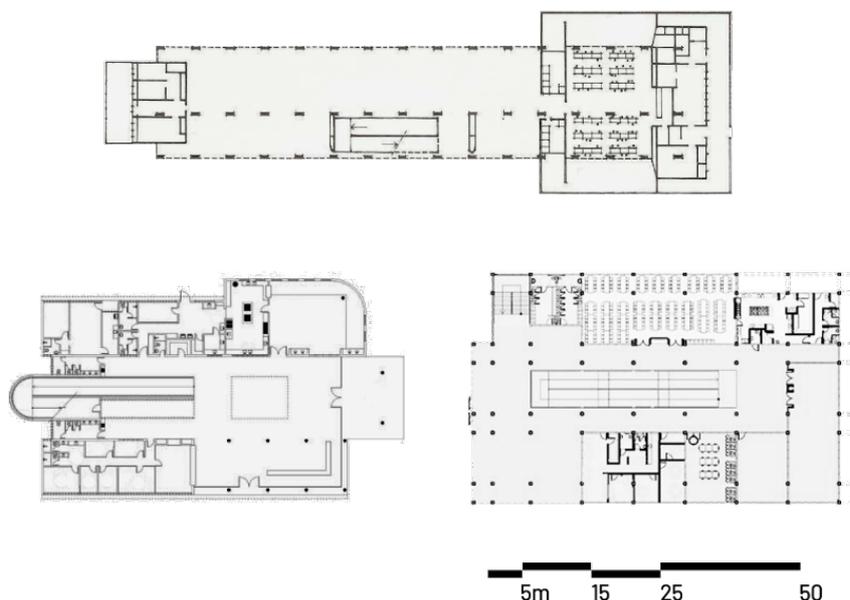


Figura 1. Planta do pavimento térreo do bloco principal das escolas do Rio de Janeiro na mesma escala. Na ordem CIEPs, Modulares Padrão e Escolas do Amanhã. Fonte: Acervo dos autores, 2020

A estética destes edifícios é bastante influenciada pelo brutalismo paulista: volume bem marcado, concreto aparente e a utilização de brises e cobogós. Alguns dos aspectos importantes que foram considerados dizem respeito ao programa do térreo, é possível observar que o pátio coberto tem cerca de metade da área do que pode se considerar bloco principal do edifício, em metade dos casos tem pé direito duplo e está sempre ligada ao refeitório internamente, e à um pátio externo pavimentado.

A circulação vertical localizada nas extremidades do edifício, e não no centro como nas escolas cariocas, permite com maior facilidade a alocação

de quadra esportiva no último pavimento. Um aspecto que certamente tem um papel importante no sucesso desses projetos é a ocupação do terreno que fica entre 25 e 35% considerando a projeção dos edifícios em todos os projetos relacionados, garantindo pátios mais confortáveis e uma melhor relação do edifício com o entorno.

Todos esses projetos foram estruturados espacialmente utilizando uma malha de 90cm onde as salas de aula correspondem 8x8 módulos, ou seja 7,20m que é também a distância entre os pilares longitudinalmente. É importante notar que estes projetos ocupam uma área muito menor que as contrapartes cariocas mesmo quando o número de salas de aula é comparável, isso se dá principalmente porque esses projetos também tem uma área expressivamente menor de circulação e serviços, incluindo refeitórios, que são menores nos projetos paulistas.

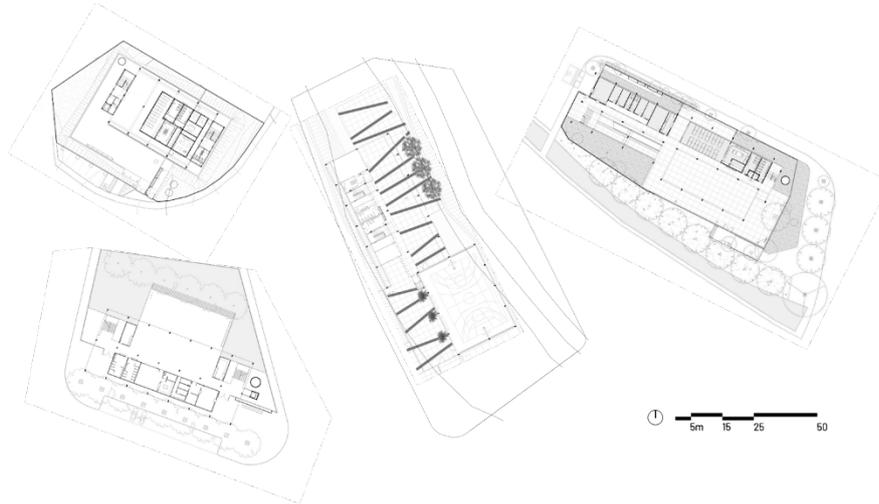


Figura 2. Planta do pavimento térreo das escolas de São Paulo na mesma escala.  
fonte: Acervo dos autores, 2020

## 2.5 Gramática de escolas

A gramática se desenvolve em 5 estágios de forma bastante linear, onde as formas possíveis em cada estágio dependem das formas e parâmetros (principalmente referente ao dimensionamento dos espaços) dos estágios posteriores. O estágio 1 então acaba sendo o mais importante, e é onde é definido a quantidade e tamanho, assim como posição relativa entre os blocos de sala de aula e a posição da circulação vertical, tendo em vista que a circulação vertical é dada por uma rampa, que acaba por ocupar uma área relevante no projeto. O estágio 1 termina com a inserção do pátio externo de acordo com a posição dos blocos e os estágios posteriores do 2 ao 5 tratam de instanciar elementos pertencentes a um vocabulário de formas referentes às estruturas e fechamentos a cada pavimento da edificação

respectivamente, ficando o estágio 6 com a inserção de elementos de cobertura que finalizam.

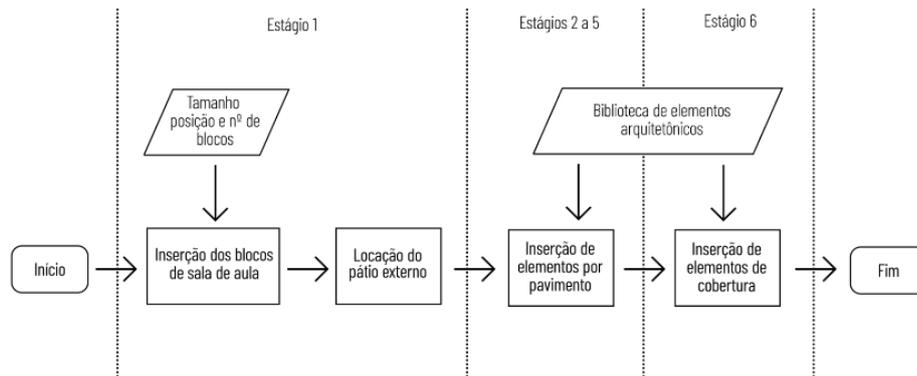


Figura 3. Fluxograma dos estágios de regras. Fonte: Acervo dos autores, 2020

**Estágio 1:** Definição do arranjo dos blocos. Define o posicionamento geral dos blocos e posição da circulação vertical dada por rampa, bem como a posição do pátio externo com base na posição dos blocos.

**Estágio 2:** Definição de elementos do pavimento térreo. A partir das formas geradas no primeiro estágio gera as lajes do pavimento térreo com operações de extrusão. Com as lajes formadas então é possível instanciar elementos de fechamento que dizem respeito ao programa arquitetônico do térreo. Neste estágio existe a possibilidade de transformar o bloco secundário em uma quadra térrea, se forem respeitadas as dimensões mínimas.

**Estágio 3:** Definição de elementos do primeiro pavimento. Neste estágio a maioria das regras são inseridas em consequência dos estágios anteriores, aspecto que diferencia esse estágio é a estrutura que possibilita o mezanino e a inserção dos elementos que constituem a parte administrativa do edifício.

**Estágio 4:** Definição de elementos do segundo pavimento. Assim como o estágio anterior, este estágio toma como base as dimensões estabelecidas nos estágios anteriores e aloca principalmente as salas de aula.

**Estágio 5:** Definição de elementos do terceiro pavimento. Neste estágio existe a possibilidade de inserção de quadra esportiva ou conjunto de salas de aula na cobertura.

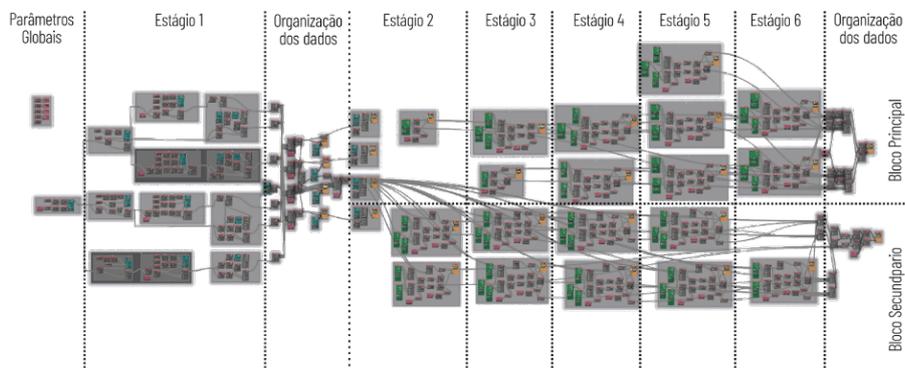


Figura 4. Captura de tela da definição em Sverchok, mostrando sua relação com a estrutura de estágios da gramática. Fonte: Acervo dos autores, 2020

### 3 Resultados

A gramática gerada possui 119 regras possibilita a geração de 312 modelos diferentes, as quais podem ser filtradas através dos parâmetros: existência de bloco secundário, localização da circulação vertical (que influi na localização do bloco secundário caso este exista), tamanhos dos blocos principal e secundário, existência de quadra térrea ou na cobertura e espelhamento da edificação.

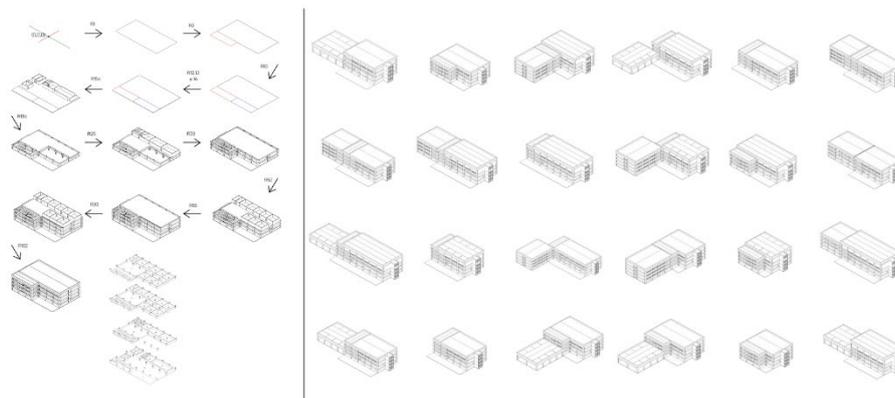


Figura 5. Exemplo de derivação possível (a esquerda) e matriz com algumas possibilidades de projeto geradas (a direita). Fonte: Acervo dos autores, 2020

## 4 Exemplo de aplicação

Com o fim de testar a aplicação da gramática em uma situação real de projeto, foi escolhido um terreno localizado no Rio de Janeiro, no bairro de Madureira. Terreno este pertencente à prefeitura e no qual estava em construção um modelo de Escola do Amanhã no momento da pesquisa. O script gramatical permitiu testar-se rapidamente várias possibilidades das quais foram escolhidas 3 para se analisar mais a fundo.

Em comparação com a maneira em que os projetos de escolas municipais são propostos no Rio de Janeiro atualmente, só seriam possíveis dois modelos de escola que variam em tamanho, enquanto o modelo proposto permite testar várias possibilidades, e inclusive possibilita que sejam considerados parâmetros, por exemplo, a escolha de uma faixa de ocupação de terreno ótima para cada contexto urbano, que pode ser definida a partir de pesquisas qualitativas, ou mesmo análises numéricas feitas a partir dos modelos gerados.

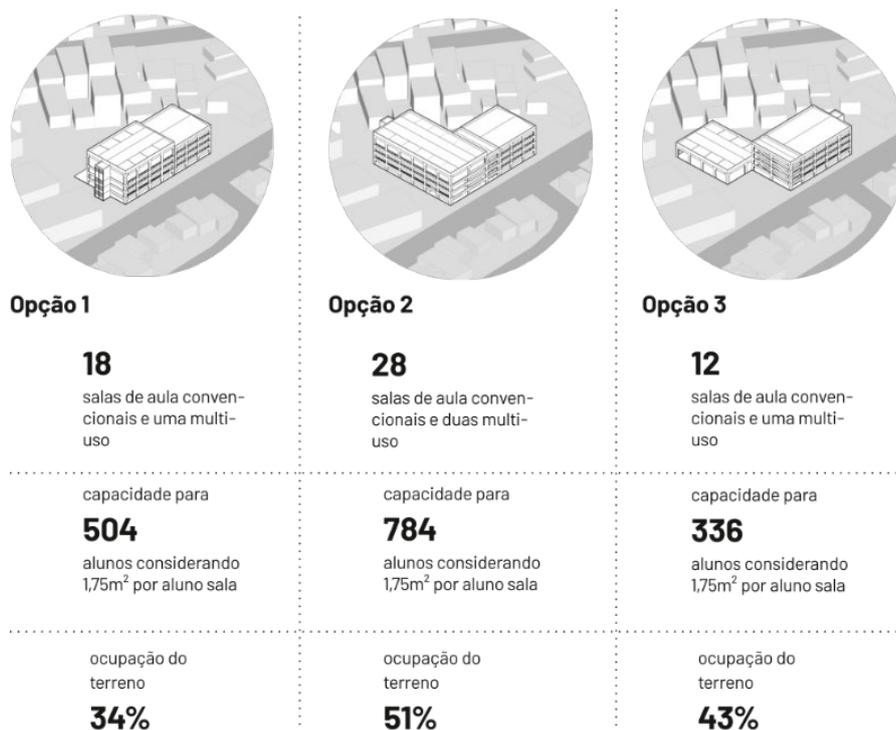


Figura 6. Comparação entre variações de projeto escolhidas. Fonte: Acervo dos autores, 2020

## 5 Discussão

A possibilidade de geração de diversas soluções utilizando um sistema como a gramática da forma pode ser de grande importância no contexto utilizado, não só pela velocidade na produção das soluções em um ambiente computacional, mas pelas possibilidades que são abertas. Sendo assim, a gramática da forma apresenta-se como um modelo de geração de alternativas de projeto que pode ser utilizado como base para outras metodologias computacionais, como ferramentas de análise ambiental e algoritmos genéticos. Além disso, podem contribuir na fase de concepção de projeto, a partir da comparação entre as soluções geradas. Um fator interessante na metodologia desenvolvida é a possibilidade de criar uma gramática a partir da apropriação crítica de precedentes arquitetônicos. Na fase analógica do trabalho, o desenvolvimento da Gramática buscou, mais do que definir regras que permite antecipar cada passo do processo, um arcabouço que permite delinear a estrutura do algoritmo e as características espaciais do edifício projetado. Dentro da lógica de uma solução que reduza os custos desde a fase projetual, o emprego de software open source aumenta a acessibilidade aos processos, fator importante para projetos de cunho social.

## Referências

- Blender Development Team. (2020). Blender (Version 2.82.0) [Computer software]. <https://www.blender.org>
- Celani, G., Cypriano, D., de Godoi, G., & Vaz, C. E. V. (2006). A gramática da forma como metodologia de análise e síntese em arquitetura. *Conexão-comunicação e cultura*, 5(10).
- Chokyu, M. L., & Dias, M. A. (2018). Favela's houses as design reference: using shape grammar. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 12(7), 483-92.
- Chomsky, N. (1957). *Syntactic Structures*. The Hague: Mouton.
- Duarte, J. P. (2005). Towards the mass customization of housing: the grammar of Siza's houses at Malagueira. *Environment and planning B: Planning and Design*, 32(3), 347-380.
- Foucault, M. (1999). *Vigiar e punir*. Vozes. (Original work published 1975)
- Gimenez, L. E. (2005). As quatro escolas do FDE em Campinas. *Arquitextos*, 6 (064.02).
- Knight, T. (1999) *Applications in Architectural Design, and Education and Practice*. Relatório, Workshop on Shape Computation. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.
- Kolarevic, B., DUARTE, J.P. (2019). *Mass Customization and Design Democratization*. Londres e Nova York: Routledge.

- Kowaltowski, D. C. (2011). *Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino. Oficina de textos.*
- Mitchell, W. J. (1990). *The Logic of Architecture.* Cambridge: MIT Press.
- Morais, M. de, Santos, L. G. M. dos, Pina, S. A. M. G. (2014). *A Leitura Da Gramática Da Forma Do Conjunto Habitacional Campinas-F Da CdhU Em Campinas. Gestão & Tecnologia de Projetos, 9(2), 23-36.*
- Oliveira Goes, C. A. F., Martins, V. R., Bueno, L. C., Niemeyer, M. L. A. (2011, August). *Escolas-padrão na Cidade do Rio de Janeiro: uma abordagem acústica.* In SBQP 2011-Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído.
- Palermo, N. S. (2021) *Escolas modernas em São Paulo: passado e presente. Arqtextos, 21(249.08).*
- Post, E. L. (1943). *Formal reductions of the general combinatorial decision problem. American journal of mathematics, 65(2), 197-215.*
- Stiny, G., & Gips, J. (1971, August). *Shape grammars and the generative specification of painting and sculpture.* In IFIP congress (2) (Vol. 2, No. 3, pp. 125-135).
- Stiny, G. (1980). *Kindergarten grammars: designing with Froebel's building gifts. Environment and Planning B: Planning and Design, 7(4), 409-462.*
- Sverchok Community. (2020). *Sverchok (Version vstable4) [Computer software].* <https://github.com/nortikin/sverchok>
- Willis, B. R., Hemsath, T. L., & Hardy, S. (2012). *A parametric multi-criterion housing typology.*