

PROCESSO PARAMÉTRICO PARA O CUSTO UNITÁRIO GEOMÉTRICO: UMA ESTIMATIVA DO CUSTO DE OBRA

PARAMETRIC PROCESS FOR THE GEOMETRIC UNIT COST: AN ESTIMATE OF THE CONSTRUCTION BUDGET

 Pedro Oscar Pizzetti Mariano ¹

 Carlos Eduardo Verzola Vaz ²

¹ Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.
pedro.pm@hotmail.com

² Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil,
carlos.vaz@ufsc.br

Resumo

Esse artigo faz parte de uma pesquisa que visa interpretar o papel do arquiteto em um futuro em que os processos autônomos sejam colaboradores constantes nas atividades de projeto, e, para isso, pretende-se desenvolver uma ferramenta paramétrica baseada em múltiplos critérios de desempenho. Assim, a investigação pretende construir, testar e validar um processo de projeto capaz de estimar o custo de uma construção na fase inicial de projeto por meio do Custo Unitário Geométrico (CUG). O artigo também visa validar e possibilitar que o método seja utilizado como um instrumento de coleta de dados nas primeiras fases do processo de projeto. Para isso, o corpo teórico foi estudado e aplicado em uma programação visual, de modo a ser possível calcular automaticamente o Custo Unitário Geométrico a partir de uma composição de formas simplificadas. Após, a construção do processo digital passou por uma sequência de testes envolvendo composições geométricas e comparando seus resultados com os de outro método comumente aceito, o Custo Unitário Básico (CUB). Como resultado, observou-se que os valores encontrados com o método do CUG apresentam constante variação, não estando vinculadas diretamente à área analisada. Assim, conclui-se que foi possível comprovar o uso do CUG, pois a experimentação permite identificar diferentes custos para áreas projetadas semelhantes. O desenvolvimento do processo também trouxe a discussão da utilização do método e do processo que podem auxiliar profissionais a potencializar sua interpretação do custo do projeto nas primeiras composições e, também, a possibilidade de ser utilizado como instrumento de ensino, apresentando as consequências de custo de diferentes formas.

Palavras-chave: programação visual, custo da construção, custo unitário geométrico, automatização.

Contribuição dos autores:

POPM: conceituação, metodologia, curadoria de dados, análise formal, investigação, programação, escrita — rascunho original e escrita — revisão e edição. **CVCV:** conceituação, metodologia, supervisão, validação, visualização e escrita — revisão e edição.

Fomento: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

Declaração de conflito: nada foi declarado.

Editora Responsável:
Regina Coeli Ruschel 

Abstract

This article is part of a research that aims to interpret the architect's role in a future where autonomous processes are constant collaborators in design activities. We intend to develop a parametric tool based on multiple performance criteria. Thus, the research intends to build, test, and validate a design process capable of estimating the construction cost in the initial design phase through the Geometric Unit Cost (CUG). The article also aims to validate and enable the method to be used as a data collection instrument in the early stages of the design process. For this, the theoretical body was studied and applied in visual programming to be able to automatically calculate the Geometric Unit Cost from a composition of simplified shapes. Afterward, the construction of the digital process underwent a sequence of tests involving geometric compositions and comparing its results with those of another commonly accepted method, the Basic Unit Cost (CUB). As a result, the values found with the CUG method were observed to present constant variation, not being directly linked to the analyzed area. Thus, it is concluded that it was possible to prove the use of CUG since the experimentation identified different costs for similar projected areas. The development of the process also discussed the use of the method and the process that can help professionals to enhance their interpretation of the project cost in the first compositions and the possibility of being used as a teaching tool, presenting the cost consequences of different shapes.

Keywords: visual programming, construction cost, geometric unit cost, automation.

How to cite this article:

MARIANO, P. O. P.; VAZ, C. E. V. Processo paramétrico para o custo unitário geométrico: uma estimativa do custo de obra. **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 14, p. e023009, 2023. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v14i00.8670284>

Submitted 29.06.2022 – Approved 21.12.2022 – Published 17.05.2023.

e023009-1 | **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 14, p. e023009, 2023, ISSN 1980-6809



Introdução

A credibilidade dada às informações e à velocidade que dispositivos digitais nos fornecem alteram a nossa velocidade de interpretação, fazendo com que tenhamos que responder, deduzir e repassar informações em um ritmo acelerado. Essa mudança de paradigma social e pensamento traz mudanças cotidianas que podem passar despercebidas, mas atuam em esferas do cotidiano, como no trabalho, relações, consumo, entre outros (BAUDRILLARD, 2011).

Uma das transformações atuais, que modificam o modo de vida, são as da indústria, que passa por mais um período de transição. Essa nova fase descrita como 4.0 está voltada para a incorporação do processo digital em sua produção, por meio de serviços, capacitações e produtos. Tal transformação também afetou as perspectivas no processo de desenvolvimento e construção de projetos arquitetônicos. As novas ferramentas fazem com que questões fundamentais a respeito do desenvolvimento de projeto e construção sejam levantadas, como simulação e automatizações (KOVACS; SZOBOSZLAI; CSUSZ, 2019).

Segundo Roggia e Fuentes (2016), o processo de automação se diferencia dos mecanizados, pois não utiliza máquinas em uma determinada tarefa para um trabalho de esforço físico. A automação possibilita fazer uma tarefa sem a intervenção humana, de modo que os controles sejam executados de forma automática por alguma inteligência computacional. Assim, é possível definir a automação como um mecanismo com seu funcionamento executado, medido e corrigido, sem a necessidade da intervenção do homem.

Para Llach (2015), há dois conceitos que se contrapõem na utilização de *softwares* aplicados na criação do *design* e de demais características do projeto arquitetônico e podem ser descritos como processos de autonomia tecnológica (*technological autonomy*) e neutralidade tecnológica (*technological neutrality*). O primeiro descreve um cenário em que a tecnologia apresenta uma maior autonomia e responsabilidade e, no segundo, as ferramentas digitais são tratadas somente como instrumentos de trabalho.

A autonomia tecnológica, que também pode ser descrita como determinismo tecnológico (*technological determinism*), de modo utópico, é uma estrutura cujo cenário humano se afasta da confecção do projeto. A representação desse ambiente mais autônomo, já pode ser identificado em etapas de projeto como que requerem simulações e traz também consequências à interpretação da responsabilidade do projetista (LLACH, 2015).

Novas tecnologias estão reorganizando e alterando a funcionalidade de diferentes setores econômicos e produtivos no mundo. O crescente uso e atualização de ferramentas digitais e autônomas para a produção e desenvolvimento já são perceptíveis na geração de empregos que envolvam aspectos de rotina. Mesmo que necessitem de ações cognitivas, a oferta desses trabalhos está sofrendo uma diminuição. Essa redução da oferta de emprego, sem um devido planejamento ou estudos relacionados, pode acarretar um aumento da desigualdade e dos índices de desemprego (CREWS, 2019; DVORKIN, 2016).

Uma amostra da mudança da contribuição dos profissionais na formação do projeto arquitetônico é a interferência dos responsáveis por suas áreas em disciplinas que não são seu escopo. Essa relação pode ser observada na interpretação dos limites dos campos dos conhecimentos entre engenheiros e arquitetos. A comunicação entre diferentes profissionais e setores da construção civil demanda um tempo diferenciado

ao do surgimento de novos *softwares*, fazendo com que o ciclo de atualização não acompanhe a velocidade do desenvolvimento de novas ferramentas (SAINT, 2008; KEPCZYNSKA-WALCZAK, 2018).

Uma amostra da utilização dessas ferramentas é descrita por Celani e Vaz (2012) que comentam sobre o uso de linguagens de programação escrita e VLP (*visual programming languages*) no desenvolvimento de projetos arquitetônicos. Contudo, os autores justificam que a criação de códigos a partir de *scripts* (códigos escritos), pode apresentar variações de termos e estruturas, apresentando uma desvantagem entre profissionais que não atuam diretamente com programação. Pois, a concepção de programações feitas em linguagem escrita necessita apresentar uma sintaxe condizente exigida por sua estrutura de regras e, em muitos casos, ao ter um erro, a localização deste é difícil, criando situações desencorajadoras no decorrer do processo, pois não são automaticamente detectados. Entretanto, o uso de programações visuais VPL são organizadas e desenvolvidas a partir de elementos gráficos existentes, sendo movimentados, ajustados e conectados por meio de caixas e fios (*box-and-wire*) interligados.

Essas novas formas de relações, comunicações e ferramentas são o ponto de partida para o desenvolvimento deste estudo. A operabilidade facilitada e as novas pesquisas sobre processos de projeto digitais podem fazer com que um novo distanciamento se consolide entre a pesquisa e a prática profissional. Esta lacuna pode ser ainda maior caso as pesquisas, nesse segmento, sejam incentivadas por empresas impulsionadas pelo lucro, o que possivelmente afetaria a produção e a comunicação de escritórios e profissionais individuais.

O artigo faz parte de uma pesquisa relacionada aos assuntos descritos e visa interpretar o papel do arquiteto em um futuro em que diferentes programas autônomos possam auxiliar o desenvolvimento de processos de projeto. Para isso, uma ferramenta paramétrica autônoma é criada e testada. O programa deverá gerar uma residência unifamiliar, utilizando diferentes aspectos de desempenho e critérios específicos. Assim, esse artigo tem como objetivo principal construir, testar e validar um modelo de processo de projeto capaz de estimar o custo de uma construção na fase inicial de projeto por meio de programação desenvolvida em um *software* de programação visual que, capaz de resolver automaticamente uma fórmula matemática, consiga mensurar diferentes características da arquitetura, além da comumente utilizada nesta área.

Além da construção e validação do processo, o artigo tem o objetivo de apresentar que a utilização do processo e método podem auxiliar arquitetos e estudantes nas primeiras fases da elaboração de projetos arquitetônicos, possibilitando que os mesmos verifiquem precisamente e rápido o possível custo da construção no início do processo de projeto, permitindo assim tomar decisões orientadas em dados quantitativos de modo mais explícito.

Para alcançar o objetivo, duas etapas foram desenvolvidas: uma teórica e outra prática. Na primeira, identificaram-se modos de avaliar o custo da construção por meio de uma revisão bibliográfica integrativa adaptada. Os métodos foram descritos e interpretados, permitindo a escolha do mais adequado. Na sequência, o processo paramétrico foi desenvolvido em um ambiente de programação visual, permitindo automatizar o cálculo a partir das análises de composições geométricas simplificadas (CUG). Posteriormente, o processo foi validado através da comparação de diferentes arranjos compositivos e outro método de verificação de custo comumente utilizado, o Custo Unitário Básico — CUB. Ao final, os resultados encontrados foram comparados, permitindo averiguar a funcionalidade do processo paramétrico autônomo e se o

método de cálculo escolhido permite identificar o orçamento para projetos de área semelhante. Os resultados encontrados possibilitaram criar a discussão a respeito de seu uso e de como sua utilização pode auxiliar arquitetos e estudantes nas tomadas de decisões.

Fundamentação teórica

O corpo teórico deste artigo foi desenvolvido utilizando uma revisão bibliográfica sistematizada e adaptada como a empregada por Botelho, Macedo e Cunha (2011), Moraes e Granja (2016) e Conforto, Amaral e Silva (2011), que modificam estruturas de revisões bibliográficas sistemáticas. O artigo utiliza as etapas da revisão sistemática integrativa descrita por Mendes, Silveira e Galvão (2008), incorporando etapas de revisão sistemática de Levy e Ellis (2006) na consolidação de uma base organizacional. A combinação dessas duas estruturas resultou em um método dividido em 4 partes sendo: preparação; busca; seleção e síntese.

Para identificar as características que influenciam o custo da construção, foi utilizada uma revisão para sistematizar e organizar possíveis critérios. A revisão visa responder às perguntas: quais características do projeto influenciam no custo final da construção e como mensurar esse custo nas fases iniciais de projeto? As bases de dados utilizadas foram: Google Scholar; Cumincad e o Infohab. Os descritores utilizados nas buscas foram custo, programação e projeto, em português e inglês. As buscas limitaram-se a trabalhos produzidos nos últimos 7 anos (2015), examinados até os 50 primeiros artigos (ou mais) para cada banco de dados, variando conforme o *layout* das páginas de busca. Os critérios de seleção foram realizados na ordem: título; palavras-chave; resumo; introdução; resultados ou conclusões e avaliação do periódico. A organização dos artigos baseou-se no acervo encontrado, ordem, ano e título.

Após a identificação e leitura dos principais trabalhos, outros artigos foram incorporados à revisão, na forma de amostragem bola de neve, visto que são referenciados nos principais artigos e apresentam relevância ao tema. O Quadro 1 apresenta os critérios da etapa de preparação da revisão sistemática integrativa adaptada e o Quadro 2 apresenta os principais trabalhos selecionados e os métodos descritos.

Avaliação do Custo da Construção

A produção de um projeto arquitetônico exige diferentes etapas avaliadas e validadas por arquitetos e engenheiros no decorrer do processo. Algumas dessas decisões são cruciais para serem decididas durante a etapa de produção do projeto, pois ao ter um maior controle dos gastos, evitam-se alterações durante a fase de construção. Para isso, diferentes indicadores são desenvolvidos em pesquisas e órgãos governamentais, a fim de identificar variações do projeto que influenciam no custo final da construção (MORAES; PICCHI; GRANJA, 2016).

Há diversos sistemas elaborados por organizações federais e grupos empresariais que fornecem informações e estimativas para quantificar o custo de obra no Brasil. Sistemas como: o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices (SINAPI) elaborado pela Caixa Econômica Federal; o Sistema de Custos e Obras (SCO-RIO) elaborado pela FGV; o informativo da SBC — Sociedade Brasileira de Computação, entre outros. Esses, e outros, baseiam-se em índices de custos unitários, fundamentados em levantamentos quantitativos, como mão de obra, materiais e encargos sociais, de modo que quanto maior o nível de detalhes no projeto, maior a possibilidade de precisão no custo de execução de uma unidade de 1 m² (LIMA, 2013).

Quadro 1 - Critérios da etapa de preparação elencados pela revisão sistemática integrativa adaptada

Pergunta a ser respondida	Base de dados utilizada	Palavras-chave em português	Palavras-chave em inglês	Critérios de pesquisa	Critérios de seleção	Critérios de organização
Quais fatores do projeto influenciam no custo final da construção?	Google Scholar; Cumincad; Infobab	Custo; Programação; Projeto.	<i>Cost; Programming; Design.</i>	7 anos (2015); 50 artigos	Título; palavras-chave; resumo; introdução; resultados; periódico.	Acervo encontrado; ordem, ano; título

Fonte: os autores.

Quadro 2 - Resumo dos artigos encontrados que apresentam métodos que podem ser incorporados à programação. Na tabela abaixo é apresentado o nome do artigo, a revista em que foi publicado, suas palavras-chave, a data de sua publicação e a característica ou método abordado e que interessa à pesquisa

Orçamento na fase de viabilidade: comparativo dos parâmetros custo unitário básico e custo unitário geométrico	ENTAC XVI	CUB; CUG; Orçamento; Planejamento; Viabilidade	2016	Custo unitário básico; Custo unitário geométrico
O custo das decisões arquitetônicas	Livro	Não informado	1985	Índice de Compacidade (IC)
Compacidade dos espaços arquitetônicos	Mix Sustentável	Compacidade; funcionalidade; arquitetura.	2017	Índice de Compacidade Espacial (ICE)
Variáveis e índices geométricos de projeto arquitetônico relacionados ao custo de empreendimentos residenciais	ENTAC XVI	Decisões arquitetônicas. Variáveis geométricas. Custo.	2016	Índices do plano vertical e horizontal; Índices de qualidade da solução adotada
O Método Do Custo Unitário Geométrico E O Seu Potencial De Uso No Mercado Imobiliário	13ª Conferência Internacional da LARES	CUG, Estimativa de custo, estudo preliminar, regressão linear, BIM.	2013	Custo unitário geométrico

Fonte: os autores.

Existem indicadores que não estão somente relacionados com a unidade de medida da edificação, mas também com outras características que ela possui. Autores como Oliveira (1990), Losso (1995) e Neris (2010) trazem diferentes indicadores construtivos que se relacionam com a área e às características da construção, variando entre planos horizontais, verticais e índices de qualidade. São eles: número de aberturas internas por área do pavimento tipo (NAI); perímetro de aberturas externas por área do pavimento tipo (PAE); área de aberturas externas por área útil do pavimento tipo (AAE); área de pisos frios por área útil (APF); número de banheiros por área útil (NB); área média dos compartimentos (AMC); número de unidades residenciais por número de elevadores (NURE), entre outros.

Esses indicadores têm seu uso potencializado em trabalhos desenvolvidos em BIM, pois na modelagem é possível adicionar informações e características dos materiais, permitindo que seja possível quantificar, de forma mais precisa, insumos e outras informações necessárias para uma estimativa precisa. Tais qualidades no uso do BIM como ferramenta para elaboração de orçamentos de projetos, é descrita como orçamento BIM, e estão presentes em pesquisas como a de Pereira e Figueiredo (2020), Mendonça, Sousa e Guedes (2020) e Miranda *et al.* (2022). Entretanto, nenhuma dessas pesquisas descreve que o método utiliza de parametrização como uma ferramenta de suporte, ou que utiliza de uma linguagem visual de programação. Outro ponto observável nos trabalhos é que, mesmo o BIM sendo uma ferramenta eficiente para a elaboração de orçamentos, ele ainda necessita da 7ª gama de informações que devem ser inseridas no modelo, que segundo Mascaró (1985), ainda não são presentes durante as primeiras fases de elaboração do projeto.

Nas fases iniciais de projeto poucas informações são repassadas nos modelos, que apresentam um nível baixo de detalhamento, acarretando orçamentos pouco precisos quando associados a modelos que utilizam a unidade construída (MASCARÓ; 1985). Cotidianamente, quando se refere ao custo da construção para orçamentos, um dos parâmetros comumente utilizados é o custo unitário básico (CUB), custo multiplicado pelo cálculo da área total da construção (LIMA *et al.*, 2016). Segundo a ABNT (2005), a NBR 12 721 estabelece que o CUB deve considerar critérios como o padrão da edificação

— baixo, médio ou alto — e o número de pavimentos. Esse custo pela área padrão (1 m²) varia conforme o ambiente, estabelecido pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil.

Segundo Gonçalves e Ceotto (2014), o CUB apresenta somente uma variável para o cálculo do custo da unidade, podendo ser uma ferramenta que pode apresentar erros. Lima et al. (2013) afirmam que diferentes configurações e características presentes no projeto podem alterar as estimativas do custo da construção. Os autores comentam que atributos como a altura e o número de paredes internas fazem com que as proporções de áreas calculadas possam estar erradas, trazendo uma alteração no custo.

Mascaró (1985) e Losso (1995) descrevem uma série de indicadores que não são utilizados para a sugestão de custo empregada pelo CUB. Os autores apresentam características diferentes que trazem mudanças significativas no custo da construção que apresenta a mesma área, como a forma, altura e as compartimentações do edifício. Essas propriedades, embora não sendo ricas em detalhes, já são identificadas nas fases iniciais de projeto, permitindo uma estimativa mais precisa já na etapa de concepção.

Mascaró (1985) também descreve três leis que podem influenciar o custo, aumentado ou reduzido em função da área construída, sendo estas a lei do tamanho, da forma e da altura. A primeira refere-se à apropriação de quatro grupos que compõem o custo da construção, os planos horizontais (25%), os planos verticais (45%), instalações (25%) e canteiro de obras (5%). Essa relação entre planos, vertical e horizontal, acontece porque, quando a área de uma construção é reduzida, seu perímetro não é reduzido na mesma proporção.

A segunda descreve que a forma do edifício e seus compartimentos — quantidades de paredes construídas por m² — interferem no custo direto da construção, sinalizando que os planos verticais da construção influenciam em até 45% do total, isso indica haver uma relação entre a área ocupada pela construção e o seu perímetro, permitindo avaliar as paredes externas, por um índice de compacidade (IC). O IC é baseado na relação entre o perímetro e a área da geometria. Sua compreensão pode ser analisada a partir da verificação do perímetro de um círculo sobre a projeção do projeto (MASCARÓ, 1985).

O índice de compacidade estabelece que quanto menor a área das paredes externas de uma construção, menor será o seu custo, atingindo seu nível máximo de 100% com a forma de um círculo. A geometria mais próxima do círculo é o quadrado que apresenta um IC de 88,5%. Porém, esse índice pode ser utilizado para a mensuração de planos, sem considerar fatores como a altura do pé direito ou o número de pavimentos. Uma variação desse índice possibilita expandir o conceito desta para ambientes tridimensionais por meio do Índice de Compacidade Espacial (ICE). Essa variação implica no uso de uma esfera no lugar de um círculo, que, ao ter a área de sua superfície somada, resulta no ICE (MASCARÓ, 1985; BARTH; VEFAGO; VASCONCELOS, 2017).

A terceira, a altura, é referente à medida que quando há um acréscimo na altura há também um acréscimo no perímetro da construção e, conseqüentemente, há aumento na área de paredes. Além de outros fatores que encarecem a construção à medida que ela ganha altura, como: elevadores, fundações, instalações técnicas, tempo de obra e outras (MASCARÓ, 1985).

No entanto, esses métodos e índices podem ser de difícil utilização nas fases iniciais de projeto, devido à falta de informações na busca de parâmetros e à imprecisão relacionada a poucas características construtivas. Os métodos e indicadores comentados tornam-se úteis na conclusão do projeto, no momento em que as

diferentes características, composições e tomadas de decisões já estão bem definidas (LIMA, 2013).

Uma alternativa para mensurar o custo da construção, buscando maior precisão durante as primeiras fases do processo de projeto, é o custo unitário geométrico (CUG). Esse modelo de orçamentação utiliza um método comparativo direto e tratamento científico por regressão linear, podendo ser utilizado, com maior eficiência, em projetos desenvolvidos em plataformas BIM (LIMA, 2013; LIMA *et al.*, 2013). Ao observar os parâmetros utilizados pelo CUG pode-se avaliar que eles são baseados, em parte, nas três leis descritas por Mascaró (1985), pois consideram diferentes aspectos de proporção e tamanho, como o perímetro, área das paredes e a área da construção.

Os dados de entrada do método do Custo Unitário Geométrico são ajustáveis em variáveis descritas como independentes que, após descobertas, são lançadas em uma equação que permite chegar na variável dependente, sendo o custo por metro quadrado da construção. Para alcançar as variáveis independentes, são necessárias quatro funções matemáticas, sendo: X1 igual à divisão entre a área total de parede externa pela área total construída; X2 a área total de parede interna dividida pela área construída; X3 a área molhada dividida pela construída; e X4 variável conforme o padrão da construção, sendo considerado 0,1624050 um valor alto, 0 (zero) normal e -0,437 75848 baixo. Esses custos são dispostos na Equação 1, que possibilita identificar o custo do metro quadrado (LIMA, 2013; LIMA *et al.*, 2013).

$$Y = 481,60837 * e^{(0,97266795 * X1)} * e^{(0,13635413 * X2)} * e^{(-0,003251045 * \frac{1}{X3})} * e^{(0,99294145 * X4)} \text{ Eq. 1}$$

Em que:

Y = Custo do metro quadrado (m²)

X1 = Área total de parede externa dividida pela área total construída

X2 = Área total de parede interna dividido pela área construída

X3 = Área molhada dividida pela área construída

X4 = Variável conforme o padrão da construção

No trabalho de Lima *et al.* (2016), a eficiência do CUG é avaliada comparando-o com o custo estimado com CUB e o projeto executivo, e demonstrou que o CUG se aproxima significativamente do orçamento executivo em percentuais que variam de 9% a 21% (alterando conforme a cidade analisada). Algumas informações do método do CUG podem apresentar certa defasagem, porque não acompanharam algumas mudanças no custo da construção civil nos últimos anos, como a atualização das normas de desempenho e atualizações de custo.

O CUG mostra-se uma ferramenta capaz de cumprir a tarefa de avaliar o custo de uma determinada construção comparada aos outros métodos apresentados. Essa vantagem é apresentada pelo método considerar diferentes parâmetros que podem ser coletados pela interface BIM e facilitados por uma programação paramétrica. Visto que, ao se comparar com a utilização do CUB, construções com a mesma área sempre apresentariam o mesmo custo. Ademais, ao se confrontar o Índice de Compacidade ou o Índice de Compacidade Espacial, observa-se que não consideram as paredes internas, somente a forma total, assim duas edificações com áreas idênticas ou formalmente iguais e com divisórias internas diferentes também teriam o mesmo custo. Existem ainda outros índices e critérios descritos por Mascaró (1985) que poderiam ser utilizados para complementar o Índice de Compacidade, mas o CUG tem uma vantagem sobre eles por ser apenas uma fórmula, eliminando um número maior de expressões matemáticas,

facilitando a leitura do resultado e auxiliando a diminuir o processamento do hardware durante o processo.

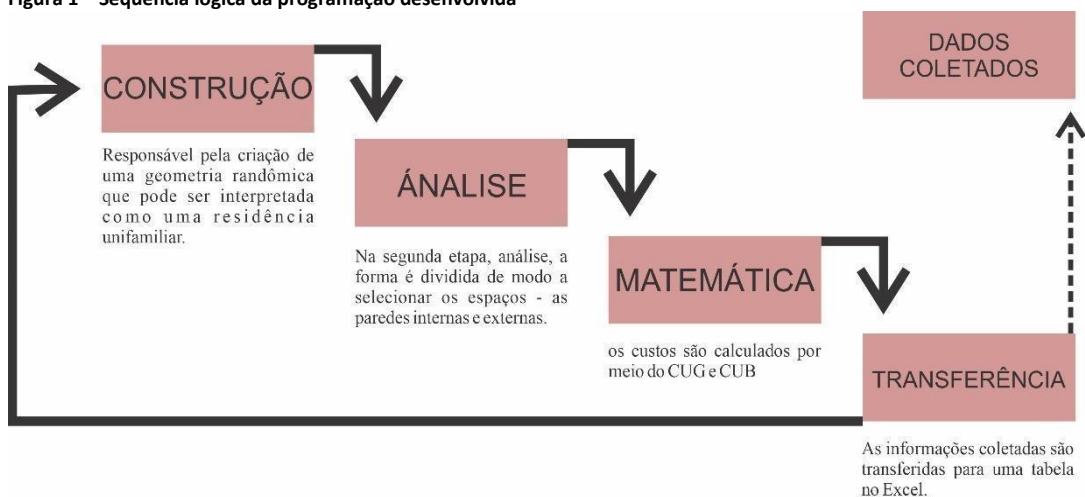
Desenvolvimento da programação

A partir das informações identificadas no corpo teórico uma série de ações foram executadas, a fim de se utilizar o método do Custo Unitário Geométrico automaticamente, sem a necessidade de calcular ou coletar dados manualmente. O desenvolvimento do processo foi executado em um programa de modelagem visual por uma programação paramétrica. O objetivo é que ela consiga aferir uma estimativa do custo, de modo autônomo, verificando diferentes resultados conforme as características da construção, como também para possibilitar a sua validação para apurar se pode ser utilizado em futuras programações, se necessita de atualizações e ainda para identificar outros possíveis usos.

Para a construção da programação foi utilizado o *software* Rhinoceros 3D-6 (MCNEEL, 2014), em sua versão educacional, e seu componente Grasshopper (Rutten; McNeel, 2014). A combinação dos programas foi escolhida, pois, segundo Kolarevic (2005) e Sedrez, Meneghel e Celani (2013), fornece uma gama de operações e comandos matemáticos e geométricos, podendo alterar o modelo digital de maneira paramétrica a partir da manipulação de NURBs (*Non uniform rational basis spline*). Seu uso é orientado por meio do manuseio de um editor gráfico de algoritmos em uma ferramenta de programação visual. Além da combinação dos programas também foram utilizados os *plug-ins* para o Grasshopper: Pufferfish (PRYOR, 2020) sendo voltado para a modificação de parâmetros por controles personalizados; VisualARQ (ASUNI, 2018) que possibilita o desenvolvimento de modelos geométricos através de um ferramental BIM; e o TT Toolbox (THORNTON TOMASETTI, 2020) que permite a migração das informações de um *software* para outro. Utilizou-se também o programa Microsoft Excel (versão 2016) para a coleta dos resultados do processo paramétrico.

Dentro desses *softwares*, o processo da programação foi dividido em quatro etapas identificadas e nomeadas ao final da programação: construção; análise; matemática e transferência. Cada uma delas possui uma sequência de ações específicas. O processo funciona em cascata, necessitando que uma etapa seja concluída com sucesso para que a seguinte inicie. Ao fim da linearidade das ações, elas iniciam novamente automaticamente e finalizam quando atingem um número parametricamente ajustável por um limitador. A Figura 1 apresenta a sequência lógica da programação desenvolvida.

Figura 1 – Sequência lógica da programação desenvolvida

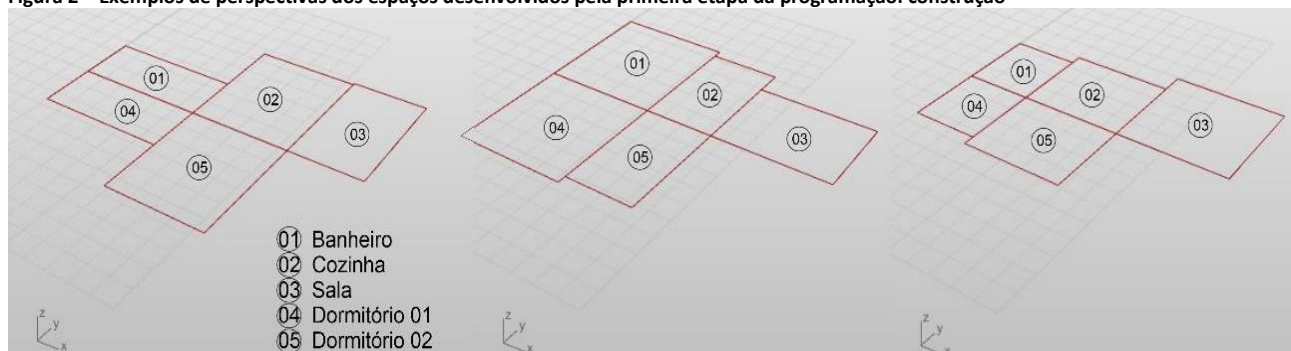


Fonte: os autores.

A primeira parte, construção, é responsável pela criação de uma geometria randômica que pode ser interpretada como uma residência unifamiliar — Figurativamente. Para isso, 5 paralelogramos foram modelados parametricamente, de modo a assumir a identidade dos cômodos: sala; cozinha; banheiro e dormitório 1 e 2. Esses ambientes foram divididos em duas linhas e três colunas, ocupando, em sequência, a primeira linha: banheiro, sala e cozinha, e na segunda: dormitório 1 e 2. Cada um dos espaços foi construído a partir de 3 pontos e programado para que as coordenadas desses pontos fossem referenciadas às posições das coordenadas do paralelogramo anterior, de forma que nunca um se sobrepõe a outro. Os ambientes foram condicionados a ter suas medidas dentro de um domínio entre 2,0 e 6,0, variando nos eixos x e y (planos bidimensionais).

Nessa primeira etapa o *plug-in* TT Toolbox foi utilizado, por seu componente *Colibri Iterator*, com o objetivo de que os custos randômicos dos ambientes possam ser testados automaticamente por um determinado número de vezes (parametricamente ajustável) sem ser necessário manusear os controladores. O desenvolvimento desses espaços de forma randômica faz com que ambientes apresentem tamanhos comumente não utilizados, mas como o objetivo final da programação é avaliar o custo da construção e não outros aspectos referentes à forma ou organização, esse atributo característico foi desconsiderado. A Figura 2 apresenta uma amostra de como os ambientes são definidos nessa etapa.

Figura 2 – Exemplos de perspectivas dos espaços desenvolvidos pela primeira etapa da programação: construção



Fonte: os autores.

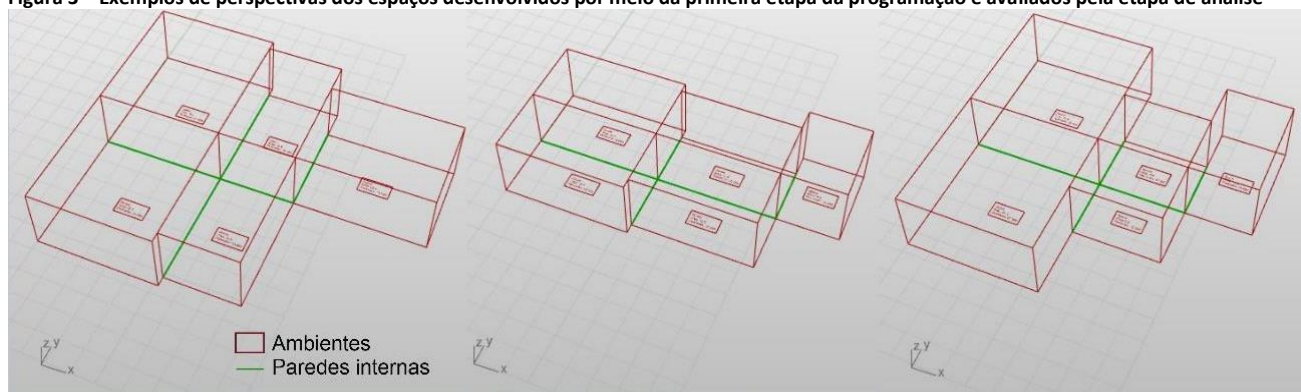
Na segunda etapa, análise, a forma inicial é unida e, em seguida, desconstruída, para ser possível selecionar, de maneira independente, os espaços — paredes internas e externas. A partir desse contorno externo, o *plug-in* Pufferfish, foi utilizado para identificar as linhas posicionadas nas extremidades da forma e as que estão inseridas na parte interna da composição, podendo-se assim destacar o que será considerado uma parede externa ou interna.

Na sequência as linhas são transformadas em formas geométricas com informações, por meio do *plug-in* VisualARQ. Por intermédio desse *plug-in* é possível atribuir as características das diferentes paredes, inserindo informações como largura, espessura, características internas etc. Também são selecionadas as áreas internas e inseridas informações para caracterizar o ambiente conforme a sua finalidade, permitindo com isso separar as áreas molhadas das secas. A Figura 3 apresenta exemplos de espaços desenvolvidos pela etapa construção, avaliados pela etapa de análise.

Na terceira parte, matemática, os custos criados a partir da forma — agora constituída de elementos arquitetônicos — são relacionados em diferentes categorias que serão utilizadas na fórmula do CUG descrita por Lima (2013). Os dados necessários são retirados a partir das linhas que os orientam às famílias BIM como altura e espessuras.

São coletados 4 valores numéricos das áreas: molhada — banheiro e cozinha —; total construída; de parede interna e de parede externa. Esses valores são contemplados com mais dois dados, adicionados à fórmula na programação, o coeficiente de padrão construtivo e o valor padrão. Todos esses dados são inseridos linearmente, para serem resolvidos em operações individuais, com o intuito de identificar erros durante a construção da fórmula. Dentro dessa organização somente o custo do padrão construtivo não foi automatizado, tendo que alterar o seu controlador para que a análise seja efetuada, sendo o — alto padrão, 1 — médio padrão e 2 — baixo padrão.

Figura 3 – Exemplos de perspectivas dos espaços desenvolvidos por meio da primeira etapa da programação e avaliados pela etapa de análise



Fonte: os autores.

O valor padrão da fórmula é de 481,60837, utilizado por Lima *et al.* (2013) e Lima (2013) com base no CUB do Rio de Janeiro de abril de 2012. Em trabalhos como o de LIMA *et al.* (2016), o padrão do CUG é utilizado em uma tabela comercial do Microsoft Excel, mas não é descrito o método. Para esse ajuste foi utilizado o INCC (FGV; IBRE, 2022), Índice Nacional da Construção Civil, com a finalidade de avaliar os reajustes dos valores, por mês, das construções. O índice é feito por uma avaliação do levantamento de custos em 7 capitais no Brasil (São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Salvador, Recife, Porto Alegre e Brasília). Para criar esse índice de variação, utilizando o INCC, que será multiplicado ao valor padrão da fórmula, foi verificada a alteração do índice pela divisão do custo atual do INCC pelo utilizado por Lima (2013), obtendo-se a Equação 2. O resultado utilizado na programação foi de um índice de variação de 1,679462 que multiplicado por 481,60837 resultou em 808,84296. A partir desse novo valor a equação de Lima (2013) foi adaptada para Equação 3.

$$481,60837 * VvINCC = \frac{INCC1}{INCC2} \quad \text{Eq. 2}$$

Em que:

VvINCC = Variável.

INCC1 = Índice Nacional da Construção Civil para o mês de outubro de 2022.

INCC2 = Índice Nacional da Construção Civil para o mês de abril de 2012.

$$Y = 1008,809435 * e(0,97266795 * X1) * e(0,13635413 * X2) * e\left(-0,003251045 * \frac{1}{X3}\right) * e(0,99294145 * X4) \quad \text{Eq. 3}$$

Em que:

Y = Custo do metro quadrado (m²)

X1 = Área total de parede externa dividida pela área total construída

X_2 = Área total de parede interna dividido pela área construída

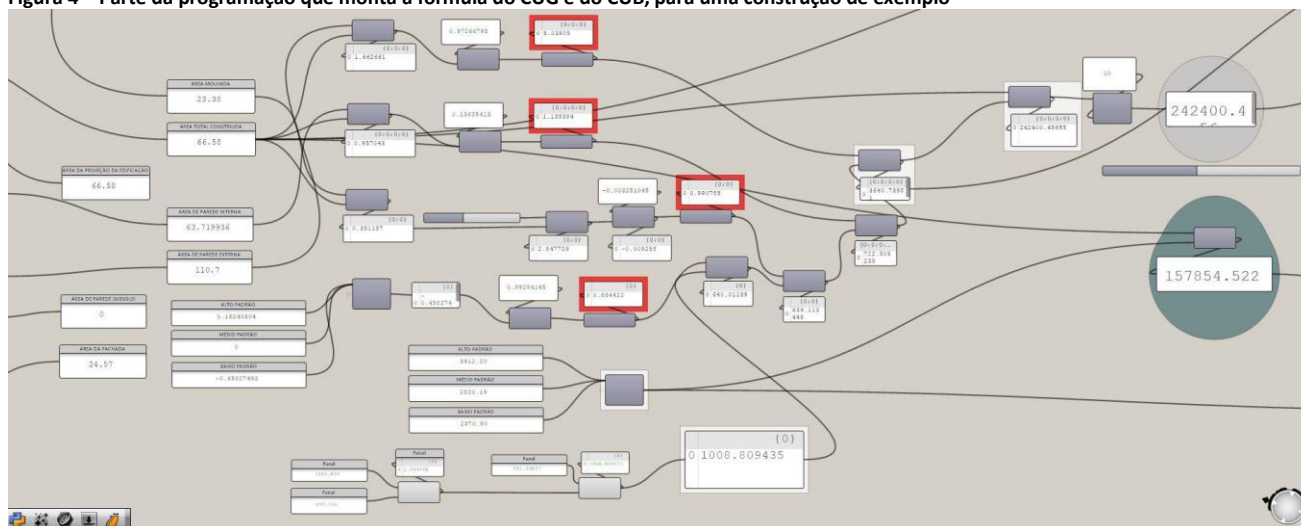
X_3 = Área molhada dividida pela área construída

X_4 = Variável conforme o padrão da construção

Nesta etapa, outra expressão matemática foi programada a fim de possibilitar a comparação do método CUG com o do CUB. Desta forma, o dado de saída da área total construída foi multiplicado pelo custo do CUB correspondente ao padrão utilizado no CUG para residências unifamiliares. Esses valores estão de acordo com a tabela do Sinduscon (2020) para o mês de outubro, que aponta R \$3412,2 como valor do metro quadrado para o CUB alto padrão, R \$2820,19 para os de médio padrão e R \$2370,90 para os de baixa padrão. Esses valores estão de acordo com a tabela do Sinduscon (2020) para o mês de outubro, que aponta R \$3412,2 o valor do metro quadrado para o CUB alto padrão, R \$2820,19 para os de médio padrão e R \$2370,90 para os de baixa padrão.

Na Figura 4, é possível ver a construção da fórmula do CUG e do CUB.

Figura 4 – Parte da programação que monta a fórmula do CUG e do CUB, para uma construção de exemplo



Fonte: os autores.

A última etapa, transferência, coleta dados gerados e os transfere para uma tabela no Microsoft Excel (versão 2016). Essa operação novamente utiliza o *plug-in* TT Toolbox que organiza as linhas e colunas e posiciona os valores das coordenadas programadas. Nessa etapa, para facilitar a visualização e análise, diversos dados foram retirados da programação, além do resultado da estimativa de orçamento do CUG e CUB. Inicialmente um número foi atribuído para cada construção, enumerado conforme a ordem de valores randômicos fornecidos pela programação, possibilitando, assim, identificar cada construção e, se necessário, desenvolvê-la para avaliar visualmente sua composição. Além da enumeração, também foi retirada a área total da construção, o custo do m² do CUG, o custo do m² do CUB, o orçamento estimado pelo CUG e pelo CUB.

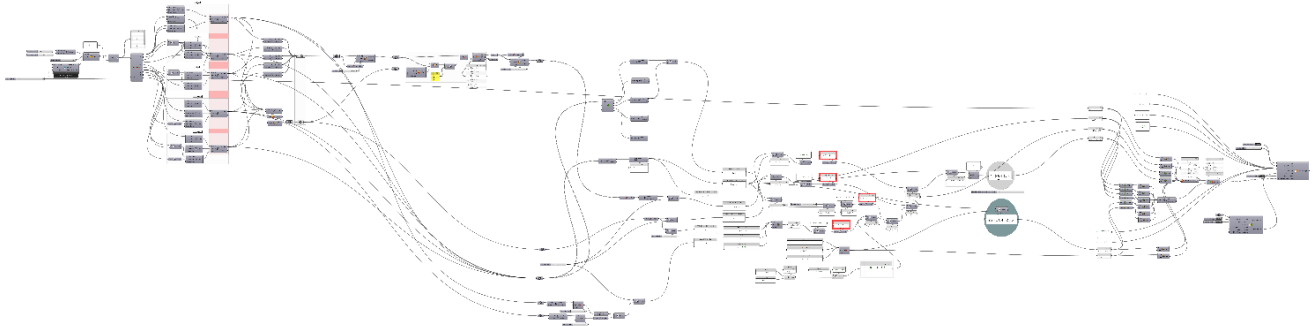
A programação completa pode ser visualizada pela Figura 5, em que é possível observar os componentes utilizados e organização das etapas descritas.

Avaliação do Custo da Construção

Para verificar a funcionalidade da programação, um processo de validação foi estruturado em que dois pacotes de resultados são gerados, cada um com 100 composições. Os pacotes variam o tipo do padrão de construção, de alto a baixo. Essa variação foi escolhida porque no trabalho de Lima *et al.* (2013) é descrito que, em

comparação ao CUB de residências de alto padrão, a utilização do CUG pode atingir valores de 7% a 37% superiores e em residências de baixo padrão essa variação pode ser de 7% a 117%. Neste trabalho, os autores também mostram que o uso do CUG se aproximou significativamente do orçamento executivo final em comparação ao CUB.

Figura 5 – A estrutura da programação completa desenvolvida no Grasshopper



Fonte: os autores.

A partir dos resultados dos dois pacotes de dados, verificam-se os diferentes resultados encontrados em comparação com a validação da programação. Primeiro investigam-se as áreas semelhantes para conferir se apresentam variações de custo e, na sequência, são identificadas essas tipologias para interpretar suas variáveis. A segunda verificação foi comparar os resultados do CUG com o CUB, conferindo se ainda apresentaram resultados superiores, possibilitando então validar a alteração do custo padrão.

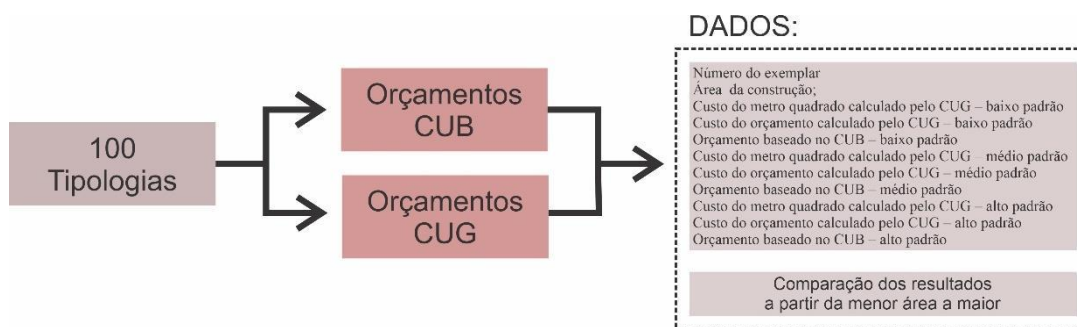
Validação da programação

Há dois resultados encontrados, o primeiro está relacionado com a formação da programação visual e sua eficácia na resolução dos objetivos pertinentes a esse artigo, o segundo é referente aos dados resultantes da programação, sendo os custos do CUG e do CUB, coletados, analisados e comparados. O primeiro resultado é a formação e utilização da programação completa, constituída de suas diferentes etapas: construção; análise; matemática e transferência. O resultado dessas etapas permite avaliar uma determinada forma, que constitui um projeto arquitetônico, e quantificar um custo por meio do CUG e o CUB. Durante a validação, o processo completo demonstrou ser eficiente, permitindo criar uma gama de formas geométricas variadas, coletar as características com precisão, avaliar e quantificar essas qualidades por meio do CUG e CUB, organizar os valores resultantes em um arquivo externo, repetir as ações automaticamente, e alterar parametricamente diferentes propriedades geométricas e numéricas. A programação final, desenvolvida para essa pesquisa, é disponibilizada em Mariano (2023).

O segundo resultado concentra-se na análise e comparação dos dados quantitativos gerados pela programação. No total, analisaram-se 200 tipologias e o CUG e CUB foram calculados duas vezes, utilizando o padrão de construção baixo e alto. Ambos resultados foram inseridos em uma tabela para facilitar a leitura e comparação. Foram organizados por área, iniciando pela menor a maior, para cada tipologia criada e calculada visual, obtendo-se: seu número de descrição; área da construção; custo do metro quadrado calculado pelo CUG — baixo padrão; custo do orçamento calculado pelo CUG — baixo padrão; custo do metro quadrado do CUB — baixo padrão; orçamento baseado no CUB — baixo padrão; custo do metro quadrado calculado pelo CUG — alto padrão; custo do orçamento calculado pelo CUG — alto padrão; custo do metro quadrado do CUB — alto padrão; e orçamento baseado no CUB — alto padrão.

A Figura 6 apresenta a sequência do processo de validação da programação e a tabela A apresenta os resultados tabelados.

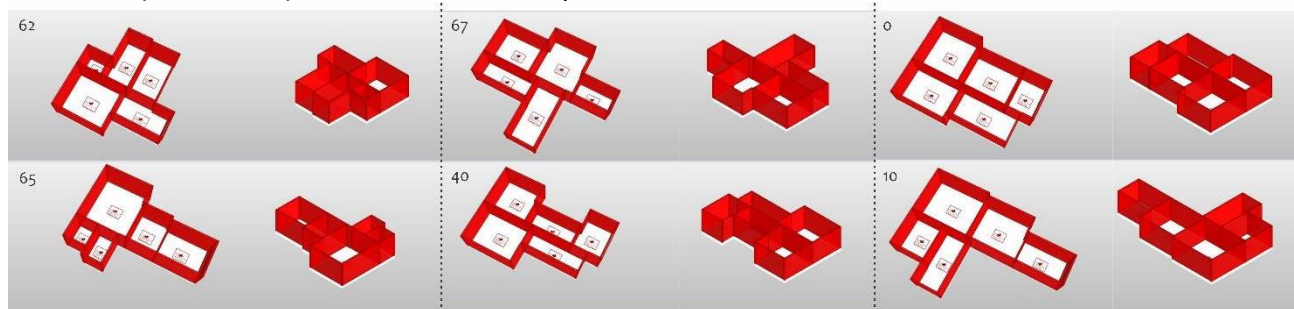
Figura 6– Sequência do processo de validação da programação



Fonte: os autores.

Os resultados apresentaram uma variação de tipologias e custos que variaram de 32,93 m² a 118,14 m² e apresentaram diferentes custos em seus orçamentos. Uma amostra que o CUG apresenta uma avaliação diferenciada do CUB pode ser observado nos valores grifados na tabela (62 e 65; 67 e 40; 0 e 10). Nesses casos, assim como em outros de área foi aproximada, foi possível observar como o orçamento gerado a partir do CUG tem considerável variação em casos parecidos. Isso pode ser observado no primeiro caso grifado, 62 e 65 nos três padrões construtivos, em que uma variação de 0,26 m² pelo método CUG é de R \$ 23.015,79 para baixo padrão, R \$ 36.278,33 para médio e 42.626,63 para alto. Para esses dois casos em relação ao CUB a variação é de R \$284,50 para baixo padrão, R \$338,42 para médio e R \$409,46 para alto. Essa diferença de variação acontece em outros casos similares em todos os padrões construtivos. Assim, a diferença de custos pelo método do CUG demonstra que as características da tipologia modificam significante o custo do orçamento. A Figura 7 apresenta três exemplos de comparação de tipologias, a 62 e 65 (com 60,79 m² e 60,91 m²), a 67 e 40 (82,23 m² e 82,36 m²) e 0 e 10 (com 96,66 m² e 96,92 m²), em que as composições apresentam uma área de parede externa maior, o que proporcionou a diferença de custo. Alteração essa que não apresenta significativa diferença ao se utilizar o CUB.

Figura 7 – As tipologias 65, 67 e 10 são as que apresentam um valor unitário superior ao serem comparadas com seus pares de área semelhante (62, 40 e 0) quando avaliadas pelo CUG. Isso acontece por fatores como a área de parede externa e tamanho de cômodos que necessitam de revestimentos (áreas molhadas). Características não avaliadas pelo valor unitário do CUB

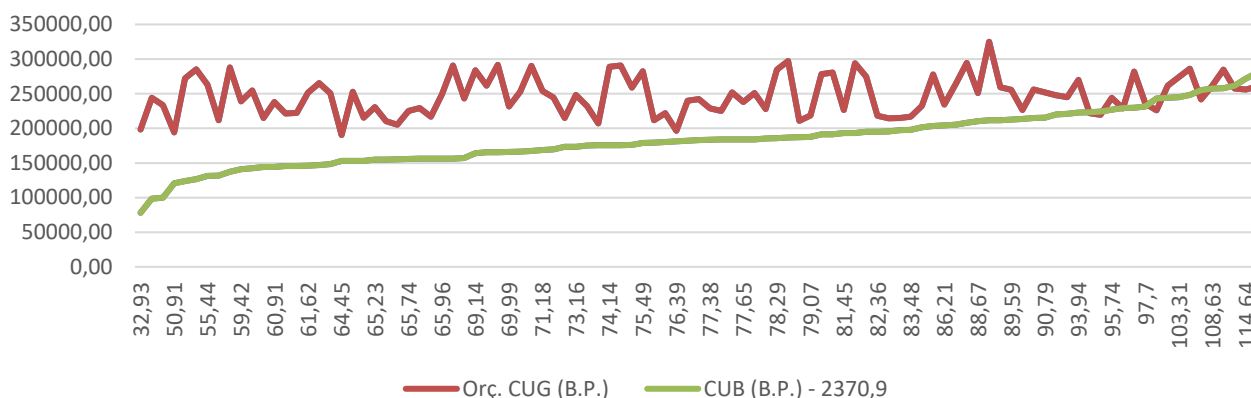


Fonte: os autores.

A partir dos dados gerados pela programação, foi possível criar gráficos que possibilitaram observar algumas características da utilização do método CUG. A principal constatação foi que o método se comporta melhor em áreas maiores, quando a área total de paredes externas não é significativamente superior à área total construída. Também é possível observar que a variação entre os valores do CUG e CUB são maiores em tipologias que apresentam maior padrão. O custo do valor unitário com

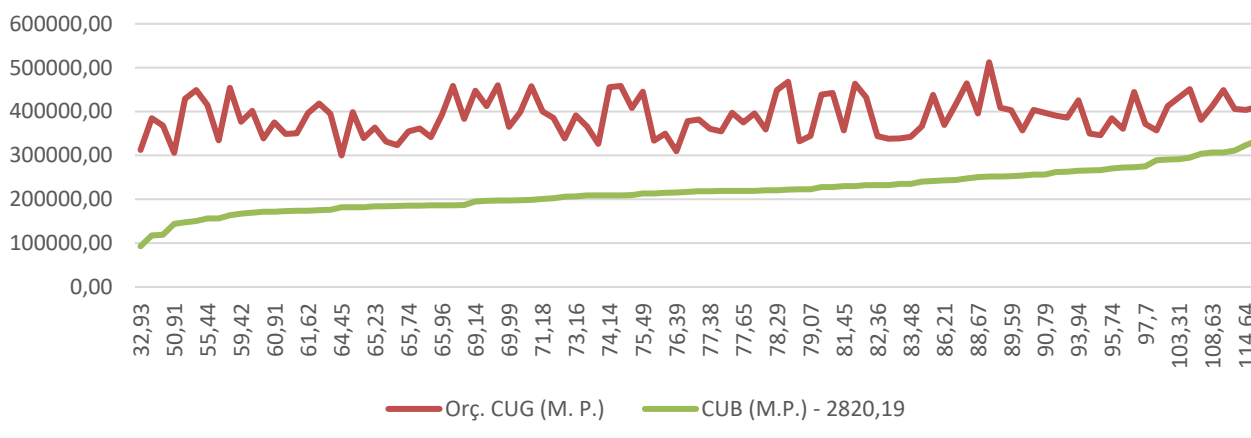
o CUG nas tipologias com padrão baixo, mesmo apresentando variação de valor conforme características, são mais próximas aos valores do CUB. À medida que o padrão construtivo aumenta há um maior distanciamento entre os valores do CUG e CUB. Tais variações podem ser percebidas ao se comparar os resultados dos orçamentos disponibilizados pelas Figuras 8, 9 e 10 que apresentam a comparação geral do CUG e CUB em edificações de padrão baixo, médio e alto padrão.

Figura 8 – Apresenta a comparação do orçamento total para os métodos CUG e CUB para construção em baixo padrão, o gráfico está organizado a partir da área menor para a maior



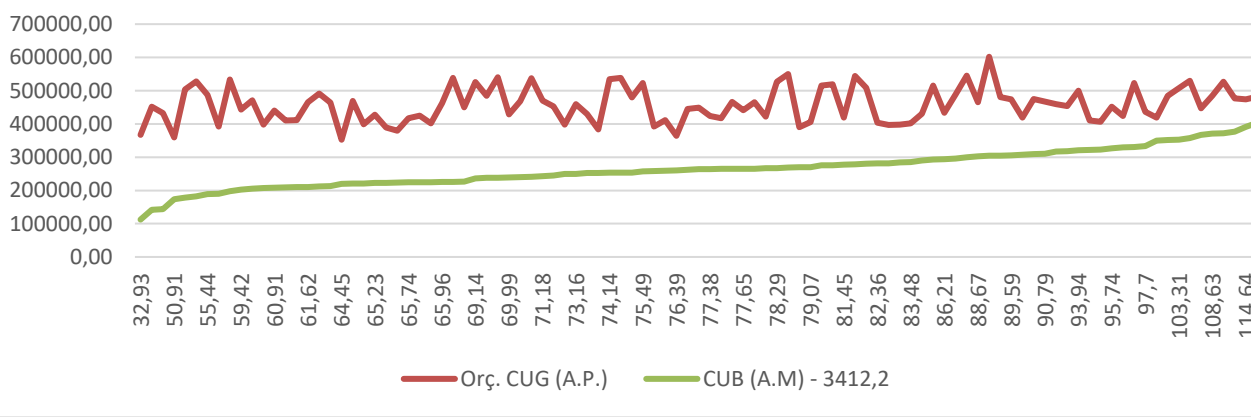
Fonte: os autores.

Figura 9 – Apresenta a comparação do orçamento total para os métodos CUG e CUB para construção em médio padrão, o gráfico está organizado a partir da área menor para a maior



Fonte: os autores.

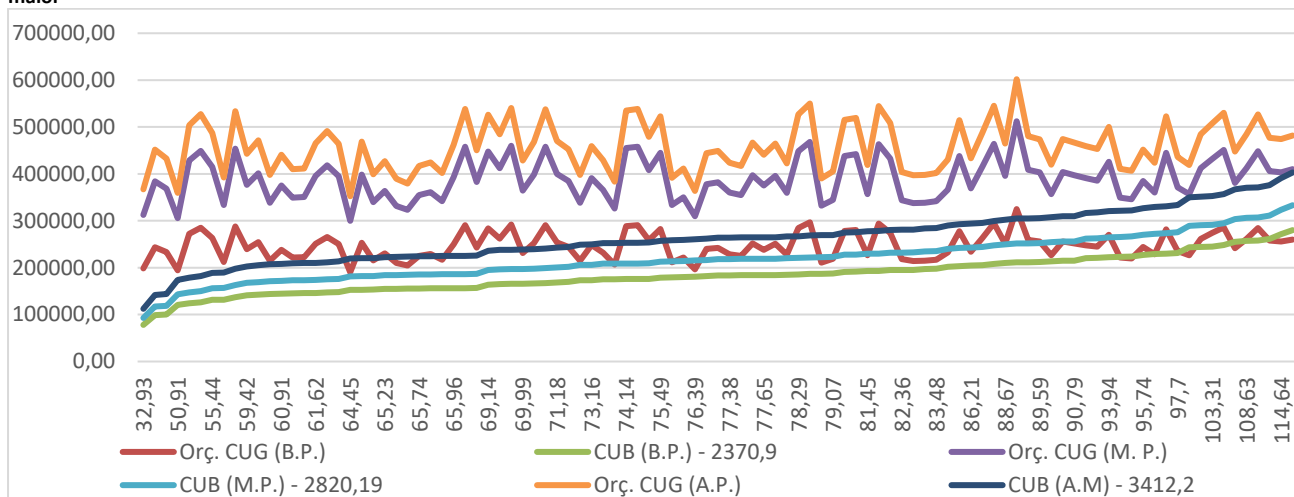
Figura 10 – Apresenta a comparação do custo do orçamento total para os métodos CUG e CUB para construção em alto padrão, o gráfico está organizado da menor área para a maior



Fonte: os autores.

Na última análise foi observada que a variação de custos do orçamento do método CUG considera não só a área da construção, mas também outras características descritas de sua fórmula. Na Figura 11 é possível observar essa variação no orçamento total da construção em todos os padrões, apresentando descontinuidade conforme a área da construção aumenta, diferentemente do CUB que segue uma linearidade conforme a área. Ao comparar os custos totais, também é possível identificar que a utilização dos padrões construtivos no método CUG foi positiva em alterar os custos do orçamento estimado, pois a variação entre os dois padrões é significativa.

Figura 11 – Apresenta a comparação dos métodos CUG e CUB para construção em baixo padrão, o gráfico está organizado da menor área para a maior



Fonte: os autores.

Conclusões

Na análise dos resultados e averiguação da programação, pode ser verificada a utilização do método CUG e como o seu uso apresenta variação no orçamento e valor unitário, não somente direcionado à área final da proposta. Tal resultado permitiu identificar três principais conclusões: (1) relacionada ao êxito da programação em cumprir sua função de calcular o custo de um partido, e assim, poder ser adaptada e utilizada na continuidade da pesquisa; (2) a utilização do orçamento calculado pelo CUG como um método eficiente para diferenciar custos de tipologias com áreas semelhantes e (3) a utilização do modelo e método como ferramenta na tomada de decisões de arquitetos e estudantes, permitindo interpretar de modo mais explícito a consequência que arranjos compositivos interferem no custo total da obra.

A primeira afirma que a programação visual desenvolvida conseguiu solucionar o problema proposto pelo artigo de construir um processo paramétrico capaz de estimar um possível custo de uma construção na fase inicial de projeto considerando características. Por meio dos resultados quantitativos, é possível concluir que a escolha pelo CUG é uma alternativa viável, em relação ao CUB e aos demais pesquisados no artigo. Além da facilidade por ser solucionado por somente uma fórmula matemática, suas variáveis podem ser identificadas com o auxílio da programação, sem que haja a necessidade de um alto processamento do *hardware*.

A programação completa também possibilitou avaliar e tirar conclusões a respeito dos dados quantitativos gerados. Os resultados dos orçamentos calculados pelo CUG, tanto baixo quanto alto padrão, apresentaram uma não linearidade em suas respostas, dando a entender que a área não é o artifício que irá definir o seu cálculo, apresentando influência, mas não total, como acontece com o CUB. Para o objetivo do artigo, essa

característica é positiva, pois permite identificar o custo de construções, mesmo que elas tenham áreas bastante semelhantes. No entanto, a variação não linear conforme o aumento da área também incentiva a consolidação de novos testes para identificar alguma incoerência na fórmula matemática utilizada pelo CUG. Os trabalhos exemplificados por Lima (2013), Lima *et al.* (2013) e Lima *et al.* (2016) apresentam a aplicação do método em construções com uma área absolutamente superior às utilizadas na pesquisa, além de construções com mais de um pavimento.

Mesmo com a possibilidade de serem feitos mais testes para a comprovação da eficácia da fórmula em projetos com área menor que os já utilizados, pode-se considerar um avanço dessa pesquisa na aplicação da programação. O desenvolvimento do processo paramétrico automatizado proporcionou uma série de aprendizados que serão utilizados na continuidade do desenvolvimento do algoritmo visual, como a automatização das sequências, a coleta das informações do modelo e a utilização da fórmula. Para pesquisas futuras almeja-se que essa estrutura da programação seja anexada a um modelo de projeto mais complexo. Sendo a avaliação de custo pelo CUG, um dos critérios de escolha de composições iniciais de partidos arquitetônicos iniciais.

Outra conclusão avaliada foi a utilização do processo paramétrico e do método como instrumentos potencializadores na compreensão de como a forma pode interferir no orçamento do projeto. Tal identificação pode ser uma ferramenta para profissionais e estudantes na compreensão da influência da composição no custo do projeto. Especificamente para profissionais pode explicitar tomadas de decisões atreladas ao custo ou a um orçamento que deve ser seguido. Já relacionado diretamente a estudantes, pode ser um instrumento prático que demonstra como a racionalização e outras características arquitetônicas, como uma maior área de parede externas ou molhadas, podem modificar o custo do projeto, permitindo a escolha de composições que se sejam adequadas a um limite de gastos, e interpretação visual das características formais da arquitetura que influenciam no seu custo construtivo.

O desenvolvimento da pesquisa apresenta limitações por avaliar exemplares com pouca variação, mesmo sendo possível realizar modificações nas dimensões e quantidades de ambientes, o posicionamento dos espaços não é variável. Desse modo, configurações pouco usuais, mas que poderiam trazer resultados interessantes, a visualização dos dados não é vislumbrada.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, responsável por fornecer o auxílio necessário para o desenvolvimento deste trabalho, a Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC e ao Grupo de Modelagem Avançada - GMA, por propiciar o ambiente e os demais recursos intelectuais imprescindíveis para que o presente trabalho fosse concluído.

Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12721**: Avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 61 p.

ASUNI. **Flexible BIM for Rhino**: VisualARQ. Barcelona: ASUNI, 2018. Disponível em: <https://www.visualarq.com>. Acesso em: 10 nov. 2022.

BARTH, Fernando; VEFAGO, Luiz Henrique; VASCONCELOS, Cláudia. Compacidade dos espaços arquitetônicos. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v. 3, n. 1, p. 100-108, jun. 2017. DOI: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2017.v3.n1.100-108>.

BAUDRILLARD, Jean. **Tela Total: mito-ironias do virtual e da imagem**. 5. ed. Porto Alegre: Sulina, 2011. 158 p.

BOTELHO, Louise Lira Roedel; CUNHA, Cristiano Castro de Almeida; MACEDO, Marcelo. O Método Da Revisão Integrativa Nos Estudos Organizacionais. **Gestão e Sociedade**, Belo Horizonte, v. 5, n. 11, p. 121-136, ago. 2011. DOI: 10.21171/ges.v5i11.1220.

CELANI, Gabriela; VAZ, Carlos Eduardo Verzola. CAD Scripting and Visual Programming Languages for Implementing Computational Design Concepts: A Comparison from a Pedagogical Point of View. **International Journal of Architectural Computing**, v. 10, n. 1, p.121 - 137, Mar. 2012. <http://dx.doi.org/10.1260/1478-0771.10.1.121>.

CONFORTO, Edivandro Carlos; AMARAL, Daniel Capaldo; SILVA, Sérgio Luís. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 8., Porto Alegre, 2011. **Anais [...]**. Porto Alegre: UFRGS, 2011. p. 1-12.

CREWS, C. What machine learning can learn from foresight: a human-centered approach. **Research-Technology Management**, v. 62, n. 1, p. 30 - 33, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/08956308.2019.1541725>.

DVORKIN, M. A. Jobs involving routine tasks aren't growing. **On the Economy Blog**. 4 Jan. 2016. Saint Louis: Federal Reserve Bank, 2016. Disponível em: <https://www.stlouisfed.org/on-the-economy/2016/january/jobs-involving-routine-tasks-arent-growing>. Acesso em 20 dez. 2020.

FGV. FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS; IBRE. INSTITUTO BRASILEIRO DE ECONOMIA. **INCC: índice nacional de custo da construção 2020**. Disponível em: <https://portal.fgv.br/fgv-ibre>. Acesso em: 10 nov. 2022.

GONÇALVES, Cilene Marques; CEOTTO, Luiz Henrique. **Custo sem susto: Projetando por objetivos. Um método para gestão do custo de edificações**. São Paulo: Pini, 2014, 160 p.

KEPCZYNSKA-WALCZAK, Anetta. Building Information Modeling for 2020 + Realm: Contemporary practice and future perspectives. In: KEPCZYNSKA-WALCZAK, Anetta; BIATKOWSKI, Sebastian (ed.). **Computing for a better tomorrow: eCAADe 2918**. Lodz: eCAADe, 2018. v. 1, p. 271 - 281.

KOLAREVIC, B. **Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing**. Abingdon: Taylor & Francis Group, 2005. 320 p.

KOVACS, Adam Tamas; SZOBOSZLAI, Mihaly; CSUSZ, Istvan. Key for Entering Industry 4.0 in the AEC Sector: BIM Organisation Development. IN: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED IN EUROPE, 37.; CONFERENCE IBEROAMERICAN SOCIETY OF DIGITAL GRAPHICS, 23., 2019, Porto. **Proceedings [...]**. Porto: FAUP, 2019. v. 1, p. 275 – 282. DOI: <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2019.1.275>.

LEVY, Yair; ELLIS, Timothy J. A Systems Approach to Conduct an Effective Literature Review in Support of Information Systems Research. **Informing Science Journal: The International Journal of an Emerging Transdiscipline**, v. 9, p. 181-212, Jan. 2006. DOI: <https://doi.org/10.28945/479>.

LIMA, Flávia S. A. Custo Unitário Geométrico: Uma Proposta de Método de Estimativa de Custos na Fase Preliminar do Projeto de Edificações. 2013. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: http://objdig.fjr.br/60/teses/coppe_m/FlaviaSchmidtDeAndradeLima.pdf. Acesso em: 20 nov. 2020.

LIMA, Flávia; LIMA, Gilson; NAVEIRO, Ricardo; DUARTE, Francisco. O Método Do Custo Unitário Geométrico E O Seu Potencial De Uso No Mercado Imobiliário. IN: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL - LARES - LATIN AMERICAN REAL ESTATE SOCIETY, 13., 2013, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: LARES, 2013. p. 1-14. Disponível em: RePEc:ire:wpaper:lares_2013_759-1026-1-rv. Acesso em: 20 nov. 2020.

LIMA, M. F.; NÓBREGA, T. C. S.; PEREIRA, T. M.; RODRIGUES, P. B. F. Orçamento Na Fase Da Viabilidade: comparativo dos parâmetros custo unitário básico e custo unitário geométrico. IN: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., São Paulo, 2016. **Anais [...]**. São Paulo: ANTAC, 2016. p. 3924 - 3937.

LLACH, Daniel Cardoso. **Builders of the Vision: software and the imagination of design.** Abingdon: Routledge, 2015. 226 p.

LOSSO, Iseu Reichmann. **Utilização das características geométricas da edificação na elaboração de estimativas preliminares de custos:** estudo de caso em uma empresa de construção. 1995. 177 f. Dissertação (Mestre em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/76309>. Acesso em: 20 out. 2020.

MASCARÓ, Juan Luis. **O Custo das Decisões Arquitetônicas.** São Paulo: Nobel, 1985. 100 p.

MARIANO, Pedro Oscar Pizzetti. 2023. **Programação CUB e CUG (Rhinoceros 3D 7).** Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7942311>

Mcneel, R. **Rhinoceros 3D modeling Software.** Seattle: Robert McNeel & Associates, 2014. v. 5.

MENDES, Karina dal Sasso; SILVEIRA, Renata Cristina de Campos Pereira; GALVÃO, Cristina Maria. Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. **Texto Contexto - Enfermagem**, Florianópolis, v. 17, n. 4, p. 758 - 764, dez. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-07072008000400018>.

MENDONÇA, Kelly Roberta Moura; SOUSA, Pablo Gleydson; GUEDES, Emiliana de Souza Rezende. Orçamentação de obra: Análise comparativa entre metodologia tradicional e BIM. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 93096 - 93119, nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-644>.

MICROSOFT. **EXCEL:** Versão 2016. Redmond: Microsoft Corporation, 2016. Disponível em: <https://microsoft-excel-2016.br.download.it/>. Acesso em 10 fev. 2021

MIRANDA, Gustavo Macedo; OLIVEIRA, Danielle Meireles de; ALMEIDA, Marys Lene Braga; RIBEIRO, Sidnea Eliane Campos; RIBEIRO, Carmen Couto. Análise comparativa do maior impacto no orçamento extraído pelo método convencional e pela tecnologia BIM. **Conjecturas**, v. 22, n. 1, p. 1245 - 1259, jan./ fev. 2022. <http://dx.doi.org/10.53660/conj-580-206>.

MORAES, Aline Fróes de Souza; GRANJA, Arioaldo Denis. Abordagens de custo e valor em projetos de habitação de interesse social. IN: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais [...].** São Paulo: ANTAC, 2016. p. 3710 - 3721.

MORAES, Aline Fróes de Souza; PICCHI, Flavio; GRANJA, Arioaldo Denis. Variáveis e índices geométricos de projeto arquitetônico relacionados ao custo de empreendimentos residenciais. IN: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais [...].** São Paulo: ANTAC, 2016. p. 3722 - 3732.

NERIS, L. F. A. **Relações paramétricas para estimativa de custo de edifícios de alto padrão situados em Fortaleza, Ceará.** 2010. 68 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010. Disponível em: http://www.deecc.ufc.br/Download/Projeto_de_Graduacao/2010/Luis_Neris_Relacoes%20Parametricas%20para%20Estimativa%20de%20Custo%20de%20Edificios%20de%20Alto%20Padrao%20Situados%20em%20Fortaleza%20Ceara.pdf. Acesso em: 10 out. 2021.

OLIVEIRA, M. **Caracterização de prédios habitacionais de Porto Alegre através de variáveis geométricas:** uma proposta a partir das técnicas de estimativas preliminares de custo. 1990. 137 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/10750/000062140.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 out. 2021.

PEREIRA, Daiane Maio; FIGUEIREDO, Karoline. O impacto da metodologia BIM na elaboração de orçamentos em projetos de obras civis. **Revista Boletim Gerenciamento**, n. 17, p. 30 – 45, dez. 2020. Disponível em: <https://nppg.org.br/revistas/boletimdoGerenciamento/article/view/380/281>. Acesso em: 10 jun. 2021.

PRYOR, Michael. **Pufferfish V2.9**. 2020. Disponível em: <https://www.grasshopper3d.com/group/pufferfish>. Acesso em: 14 dez. 2020.

ROGGIA, Leandro; FUENTES, Rodrigo Cardozo. **Automação Industrial**. Santa Maria: Colégio Técnico Industrial da Universidade Federal de Santa Maria; Rede E-Tec Brasil, 2016. 102 p. Disponível em: https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/12/06_automacao_industrial.pdf. Acesso em: 20 jan. 2020.

RUTTEN, David; MCNEEL, Robert & Associates, 2014. **Grasshopper 3D, EULA**. Disponível em: www.grasshopper3d.com. Acesso em: 20 jan. 2020.

SAINT, Andrew. **Architect and Engineer: A Study in Sibling Rivalry**. New Haven: Yale University, 2008. 541 p.

SEDREZ, M.; MENEGHEL, R.; CELANI, G. Programação Textual e Visual Para a Geração De Composições Com Geometria Fractal: Um Estudo Comparativo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3.; ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 6., Campinas, 2013. **Anais [...]**. Campinas: UNICAMP, 2013. p. 301-312.

SINDUSCON. SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Custo unitário Básico da Construção Civil (CUB)**: Florianópolis: SINDUSCON, 2020. Disponível em: <https://sinduscon-fpolis.org.br/>. Acesso em: 12 dez. 2020.

THORNTON TOMASETTI. **CORE STUDIO SERVICES**: CORE studio is Thorton Tomasetti’s incubator of ideas. New York: Tomasetti Practice, 2020. Disponível em: <https://www.thorntontomasetti.com/core-studio>. Acesso em: 12 dez. 2020.

Apêndice A

Tabela A - Resultados quantitativos organizados conforme: número da composição; área; orçamento unitário pelo CUG em baixo padrão; orçamento total pelo CUG baixo padrão; orçamento total pelo CUB baixo padrão (R \$2370,9); orçamento unitário pelo CUG em médio padrão; orçamento total pelo CUG médio padrão; orçamento total pelo CUB médio padrão (R \$2820,19); orçamento unitário pelo CUG em alto padrão; orçamento total pelo CUG alto padrão; orçamento total pelo CUB alto padrão (R \$3412,2);

N.	Área	m² CUG (B.P.)	Orç. CUG (B.P.)	CUB (B.P.) - 2370,9	m² CUG (B.M.)	Orç. CUG (M. P.)	CUB (M.P.) - 2820,19	m² CUG (A.P.)	Orç. CUG (A.P.)	CUB (A.P.) - 3412,2
35	32,93	6024,44	198384,97	78073,74	9495,95	312701,67	92868,86	11157,64	367420,99	112363,75
59	41,61	5861,35	243890,98	98653,15	9238,88	384429,91	117348,11	10855,58	451700,87	141981,64
49	42,19	5537,33	233620,08	100028,27	8728,15	368240,55	118983,82	10255,48	432678,55	143960,72
97	50,91	3813,16	194127,82	120702,52	6010,44	305991,39	143575,87	7062,20	359536,48	173715,10
73	52,33	5200,12	272122,19	124069,20	8196,62	428928,98	147580,54	9630,93	503986,79	178560,43
83	53,33	5343,77	284983,28	126440,10	8423,05	449201,10	150400,73	9896,99	527806,30	181972,63
41	55,44	4748,09	263234,18	131442,70	7484,12	414919,37	156351,33	8793,75	487525,65	189172,37
51	55,54	3815,26	211899,74	131679,79	6013,76	334004,14	156633,35	7066,10	392451,16	189513,59
52	57,89	4977,40	288141,84	137251,40	7845,56	454179,74	163260,80	9218,45	533656,15	197532,26
43	59,42	4024,93	239161,62	140878,88	6344,25	376975,32	167575,69	7454,42	442941,82	202752,92
74	60,11	4234,41	254530,60	142514,80	6674,44	401200,47	169521,62	7842,39	471406,10	205107,34
62	60,79	3535,14	214900,97	144127,01	5572,21	338734,79	171439,35	6547,29	398009,62	207427,64
65	60,91	3906,04	237916,76	144411,52	6156,84	375013,12	171777,77	7234,22	440636,25	207837,10
32	61,36	3610,36	221531,72	145478,42	5690,78	349186,42	173046,86	6686,61	410290,16	209372,59
42	61,5	3615,30	222341,00	145810,35	5698,57	350462,04	173441,69	6695,76	411789,00	209850,30
45	61,62	4077,40	251249,38	146094,86	6426,95	396028,48	173780,11	7551,59	465329,07	210259,76
36	62,05	4277,12	265395,21	147114,35	6741,75	418325,66	174992,79	7921,48	491528,01	211727,01
28	62,53	4009,85	250735,92	148252,38	6320,47	395219,16	176346,48	7426,49	464378,12	213364,87
95	64,45	2952,51	190289,49	152804,51	4653,86	299941,28	181761,25	5468,23	352427,67	219916,29
12	64,59	3917,30	253018,27	153136,43	6174,59	398816,68	182156,07	7255,07	468605,17	220394,00
22	64,6	3337,23	215584,92	153160,14	5260,26	339812,86	182184,27	6180,75	399276,34	220428,12
82	65,23	3538,00	230783,57	154653,81	5576,72	363769,54	183960,99	6552,59	427425,17	222577,81
81	65,37	3216,22	210244,51	154985,73	5069,53	331395,12	184355,82	5956,64	389385,58	223055,51

18	65,58	3126,14	205012,54	155483,62	4927,54	323148,29	184948,06	5789,81	379695,65	223772,08
87	65,74	3425,27	225177,07	155862,97	5399,03	354932,35	185399,29	6343,80	417041,57	224318,03
2	65,86	3479,28	229145,38	156147,47	5484,17	361187,35	185737,71	6443,84	424391,13	224727,49
66	65,94	3289,04	216879,42	156337,15	5184,31	341853,30	185963,33	6091,50	401673,83	225000,47
91	65,96	3781,69	249440,22	156384,56	5960,84	393176,82	186019,73	7003,92	461978,40	225068,71
25	65,99	4405,87	290743,04	156455,69	6944,69	458279,84	186104,34	8159,93	538473,73	225171,08
93	66,26	3668,13	243050,29	157095,83	5781,84	383104,79	186865,79	6793,60	450143,87	226092,37
3	69,14	4107,01	283958,33	163924,03	6473,61	447585,55	194987,94	7606,42	525908,04	235919,51
19	69,71	3754,01	261691,70	165275,44	5917,20	412488,06	196595,44	6952,65	484668,89	237864,46
63	69,85	4177,14	291773,10	165607,37	6584,16	459903,46	196990,27	7736,31	540381,46	238342,17
55	69,99	3305,99	231386,47	165939,29	5211,03	364719,84	197385,10	6122,90	428541,76	238819,88
5	70,21	3600,72	252806,82	166460,89	5675,59	398483,38	198005,54	6668,76	468213,54	239570,56
27	70,55	4115,73	290364,59	167267,00	6487,36	457683,32	198964,40	7622,58	537772,81	240730,71
57	71,18	3565,46	253789,70	168760,66	5620,01	400032,64	200741,12	6603,45	470033,91	242880,40
75	71,64	3410,73	244344,41	169851,28	5376,11	385144,62	202038,41	6316,87	452540,65	244450,01
39	73,07	2940,83	214886,79	173241,66	4635,45	338712,45	206071,28	5446,60	397983,36	249329,45
1	73,16	3391,07	248090,67	173455,04	5345,13	391049,62	206325,10	6280,47	459478,96	249636,55
84	73,92	3137,17	231899,40	175256,93	4944,92	365528,35	208468,44	5810,22	429491,75	252229,82
58	74,03	2796,82	207048,62	175517,73	4408,45	326357,64	208778,67	5179,88	383466,60	252605,17
90	74,14	3894,63	288747,79	175778,53	6138,86	455134,86	209088,89	7213,09	534778,41	252980,51
26	74,15	3919,63	290640,81	175802,24	6178,27	458118,70	209117,09	7259,40	538284,39	253014,63
40	74,35	3480,27	258758,06	176276,42	5485,73	407863,95	209681,13	6445,67	479235,61	253697,07
50	75,49	3739,35	282283,17	178979,24	5894,09	444945,08	212896,14	6925,49	522805,53	257586,98
24	75,7	2796,34	211683,15	179477,13	4407,70	333662,74	213488,38	5179,00	392050,02	258303,54
60	76,04	2920,11	222045,24	180283,24	4602,79	349995,85	214447,25	5408,22	411241,23	259463,69
9	76,39	2572,90	196543,75	181113,05	4055,50	309799,48	215434,31	4765,16	364010,95	260657,96
78	76,81	3125,44	240064,73	182108,83	4926,43	378398,83	216618,79	5788,50	444614,43	262091,08
70	77,3	3135,82	242398,87	183270,57	4942,79	382077,99	218000,69	5807,73	448937,40	263763,06
98	77,38	2956,00	228734,92	183460,24	4659,35	360540,37	218226,30	5474,68	423630,93	264036,04
89	77,59	2903,31	225268,15	183958,13	4576,31	355075,92	218818,54	5377,11	417210,26	264752,60
34	77,6	3245,95	251885,93	183981,84	5116,39	397031,85	218846,74	6011,70	466508,01	264786,72
11	77,65	3067,64	238202,45	184100,39	4835,33	375463,44	218987,75	5681,46	441165,38	264957,33
8	77,66	3233,18	251088,45	184124,09	5096,25	395774,83	219015,96	5988,04	465031,03	264991,45
14	78,12	2919,35	228059,44	185214,71	4601,58	359475,65	220313,24	5406,81	422379,90	266561,06
69	78,29	3635,58	284629,28	185617,76	5730,53	448643,12	220792,68	6733,31	527150,68	267141,14
54	78,75	3771,39	296996,60	186708,38	5944,60	468136,93	222089,96	6984,83	550055,70	268710,75
85	78,98	2667,15	210651,47	187253,68	4204,06	332036,58	222738,61	4939,72	390139,29	269495,56
64	79,07	2766,93	218780,78	187467,06	4361,33	344850,29	222992,42	5124,51	405195,27	269802,65
68	80,69	3446,84	278125,56	191307,92	5433,04	438391,70	227561,13	6383,76	515105,38	275330,42
92	80,81	3471,47	280529,65	191592,43	5471,86	442181,12	227899,55	6429,38	519557,91	275739,88
16	81,45	2780,07	226436,75	193109,81	4382,05	356917,91	229704,48	5148,86	419374,58	277923,69
99	81,55	3604,80	293971,46	193346,90	5682,02	463368,60	229986,49	6676,31	544452,96	278264,91
67	82,23	3336,69	274376,09	194959,11	5259,41	432481,66	231904,22	6179,75	508161,14	280585,21
44	82,36	2647,35	218036,12	195267,32	4172,86	343676,53	232270,85	4903,06	403816,11	281028,79
20	82,44	2601,41	214460,31	195457,00	4100,44	338040,21	232496,46	4817,97	397193,49	281301,77
47	83,25	2580,86	214856,60	197377,43	4068,05	338664,86	234780,82	4779,91	397927,45	284065,65
71	83,48	2599,41	216998,71	197922,73	4097,28	342041,33	235429,46	4814,26	401894,76	284850,46
53	85,05	2734,49	232568,65	201645,05	4310,21	366583,23	239857,16	5064,45	430731,23	290207,61
7	85,8	3240,10	278000,66	203423,22	5107,17	438194,84	241972,30	6000,86	514874,07	292766,76
4	86,21	2716,21	234164,31	204395,29	4281,39	369098,38	243128,58	5030,58	433686,49	294165,76
13	86,58	3045,27	263659,43	205272,52	4800,07	415589,66	244172,05	5640,02	488313,24	295428,28
17	87,73	3356,81	294492,94	207999,06	5291,13	464190,57	247415,27	6217,02	545418,77	299352,31
61	88,67	2830,80	251006,73	210227,70	4462,01	395646,02	250066,25	5242,81	464879,67	302559,77
21	89,3	3639,43	325001,54	211721,37	5736,61	512279,36	251842,97	6740,45	601922,55	304709,46
37	89,34	2904,78	259512,65	211816,21	4578,61	409053,36	251955,77	5379,82	480633,15	304845,95
10	89,59	2854,45	255729,80	212408,93	4499,28	403090,70	252660,82	5286,61	473627,10	305699,00
72	90,16	2511,75	226459,25	213760,34	3959,11	356953,38	254268,33	4651,91	419416,25	307643,95
94	90,75	2822,39	256131,70	215159,18	4448,75	403724,19	255932,24	5227,23	474371,44	309657,15
33	90,79	2776,48	252076,84	215254,01	4376,39	397332,76	256045,05	5142,21	466861,58	309793,64
86	92,87	2669,48	247914,56	220185,48	4207,73	390772,02	261911,05	4944,04	459152,78	316891,01
88	93,15	2627,89	244787,51	220849,34	4142,17	385843,05	262700,70	4867,00	453361,30	317846,43
46	93,94	2875,56	270130,22	222722,35	4532,57	425789,16	264928,65	5325,71	500297,54	320542,07
80	94,21	2353,97	221767,65	223362,49	3710,42	349558,30	265690,10	4359,70	410727,12	321463,36
38	94,49	2322,33	219437,28	224026,34	3660,55	345885,08	266479,75	4301,10	406411,13	322418,78
76	95,74	2548,40	243984,28	226989,97	4016,89	384576,98	270004,99	4719,80	451873,68	326684,03
0	96,66	2366,98	228792,67	229171,19	3730,93	360631,40	272599,57	4383,80	423737,89	329823,25

MARIANO, P. O. P.; VAZ, C. E. V.

Processo paramétrico para o custo unitário geométrico: uma estimativa do custo de obra

10	96,92	2910,88	282122,56	229787,63	4588,24	444691,93	273332,81	5391,13	522508,08	330710,42
30	97,7	2410,70	235525,86	231636,93	3799,84	371244,50	275532,56	4464,77	436208,16	333371,94
29	102,6 1	2204,89	226243,79	243278,05	3475,43	356613,76	289379,70	4083,59	419017,21	350125,84
23	103,0 2	2538,66	261532,56	244250,12	4001,53	412237,21	290535,97	4701,75	484374,15	351524,84
77	103,3 1	2653,78	274162,09	244937,68	4182,99	432144,35	291353,83	4914,96	507764,81	352514,38
79	104,6 3	2735,12	286176,06	248067,27	4311,20	451081,21	295076,48	5065,62	530015,41	357018,49
15	107,5 6	2245,82	241560,48	255014,00	3539,95	380756,50	303339,64	4159,40	447384,66	367016,23
31	108,6 3	2407,02	261474,45	257550,87	3794,03	412145,62	306357,24	4457,94	484266,53	370667,29
96	108,8 5	2615,11	284654,70	258072,47	4122,03	448683,18	306977,68	4843,34	527197,76	371417,97
56	110,2 7	2336,48	257643,33	261439,14	3682,84	406106,87	310982,35	4327,30	477171,06	376263,29
48	114,6 4	2233,69	256070,39	271799,98	3520,83	403627,55	323306,58	4136,93	474257,88	391174,61
6	118,1 4	2201,60	260096,83	280098,13	3470,24	409974,17	333177,25	4077,49	481715,09	403117,31
								7014,36	501246,30	243835,81

Fonte: os autores.

1 Pedro Oscar Pizzetti Mariano

Arquiteto e Urbanista. Mestre em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Santa Catarina. Doutorando na Universidade Federal de Santa Catarina. Endereço Postal: R. Eng. Agrônomo Andrei Cristian Ferreira, 662 - Carvoeira, Florianópolis – SC, Brasil. 88040-900

2 Carlos Eduardo Verzola Vaz

Arquiteto e Urbanista Doutorado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Estadual de Campinas. Professor Associado na Universidade Federal de Santa Catarina. Endereço Postal: R. Eng. Agrônomo Andrei Cristian Ferreira, 662 - Carvoeira, Florianópolis – SC, Brasil. 88040-900