

## Algoritmos de informação de custos apoiando a decisão de investimento de parceiros em projetos imobiliários

Flávia Schmidt de Andrade Lima<sup>1</sup>, Gilson Pereira de Andrade Lima<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CUG Consultoria, Rua Hélio de Almeida s/n, Incubadora de Empresas, Sala 10, Cidade Universitária, Rio de Janeiro - RJ, Brasil, [flavia.lima@cugconsultoria.com](mailto:flavia.lima@cugconsultoria.com)

<sup>2</sup> CUG Consultoria, [gilson.lima@cugconsultoria.com](mailto:gilson.lima@cugconsultoria.com)

### RESUMO

Em um empreendimento imobiliário é comum que o desenvolvedor busque parceiros para investir no negócio, sejam eles fundos imobiliários, outros desenvolvedores ou até mesmo o proprietário do terreno por permuta. Entretanto, a decisão de investir em negócios estruturados por terceiros esbarra na confiabilidade dos parâmetros utilizados no estudo de viabilidade, normalmente fornecidos pelo captador do investimento.

O custo de construção é o principal parâmetro relativo a desembolso do fluxo de caixa. Diferente do parâmetro do preço de venda, que normalmente é balizado em pesquisa de mercado, o custo de construção costuma balizar-se na experiência prévia da empresa construtora, em busca de uma maior aderência aos custos específicos da realidade daquela empresa, como sua produtividade, política de salários, desperdícios de material, etc. No entanto, tal experiência é normalmente acessada de forma não sistematizada, muitas vezes apoiada no conhecimento tácito das equipes de engenharia. Para um investidor externo é essencial que o parâmetro de custo de construção, devido sua significativa participação nos resultados do fluxo de caixa projetado, seja confiável.

O método comparativo direto de dados preconizado pela norma NBR 14653 – Avaliação de Bens, da ABNT, e amplamente aplicado e difundido para a identificação de preço de venda de mercado é aplicável também para a identificação de custo. A metodologia CUG (Custo Unitário Geométrico) recorre ao tratamento estatístico para identificar os parâmetros populacionais das variáveis explicativas do custo, evitando que variáveis significativas ou dados da amostra sejam negligenciados. Por outro lado, permite a identificação de outliers e o saneamento da amostra, evitando que situações de exceção sejam tratadas como regra. O tratamento dos dados históricos de uma construtora evita a memória seletiva inerente ao conhecimento tácito, transformando dados em inteligência e resultando algoritmos capazes de entregar estimativas precisas e fundamentadas, com alto grau de confiabilidade perante analistas de investimento externos à empresa.

**Palavras-chave:** custo de construção, estudo de viabilidade, confiabilidade, precisão, investimento.

# 18ª Conferência Internacional da LARES

São Paulo - Brasil  
26 a 28 de Setembro de 2018



## Cost information algorithms supporting the investment decision of partnerships in real estate development projects

### ABSTRACT

In the real estate development market it is usual for the developer to look for partnerships to invest on the project. It can be assets managements,, other developers or even directly the land owner. However, the decision to invest in third-part structured businesses is based on the reliability of the parameters used in the valuation, usually provided by the developer.

Construction cost is the main parameter related to cash flow disbursement. Different from the parameter of the sale price, which is usually fixed in marketshare research, the cost of construction tends to be based on the previous experience of the construction company. However, such experience is usually accessed in a non-systematized way, often supported by the tacit knowledge of engineering teams. For an third-part investor, it is essential that the parameter construction cost, due to its significant participation in projected cash flow results, is reliable.

The direct comparative data method recommended by the NBR 14653 - Valuation of Real Estate Projects, of ABNT, and widely applied and diffused for the identification of market sale price is applicable also for the identification of cost. The CUG methodology uses statistical treatment to identify the population parameters of the cost explanatory variables, avoiding that significant variables or sample data are neglected. On the other hand, it allows the identification of outliers and the sanitation of the sample, avoiding that exceptional situations are treated as a rule. The treatment of historical data of a construction company avoids the selective memory inherent to tacit knowledge, transforming data into intelligence and resulting algorithms capable of delivering precise and reasoned estimates, with a high degree of reliability to investment analysts outside the company.

**Key words:** construction cost, feasibility study, reliability, precision, investment.

## 1. O CUSTO DE CONSTRUÇÃO NO ESTUDO DE VIABILIDADE DE EMPREENDIMENTOS IMOBILIÁRIOS

O estudo de viabilidade econômica de um empreendimento imobiliário ou de base imobiliária é baseado no seu fluxo de caixa projetado, que consiste na distribuição, ao longo do tempo, das receitas e despesas estimadas para o empreendimento ao longo de seu horizonte. O custo de construção da edificação é a principal despesa do fluxo de caixa do empreendimento imobiliário, representando, em média<sup>1</sup>, 60% do total de despesas, impactando fortemente os resultados.

O custo de construção tem forte impacto também na precificação do terreno, normalmente realizada pelo método involutivo, no qual é idealizado um empreendimento hipotético para o aproveitamento eficiente do bem, compatível com suas características e com as condições do mercado no qual está inserido e considerando-se cenários viáveis para execução e comercialização do produto. Para esse empreendimento hipotético estimam-se as receitas e despesas e fixa-se a TMA (taxa mínima de atratividade)<sup>2</sup> desejada para o investimento, identificando-se o preço máximo que pode ser pago pelo terreno para viabilizar o negócio.

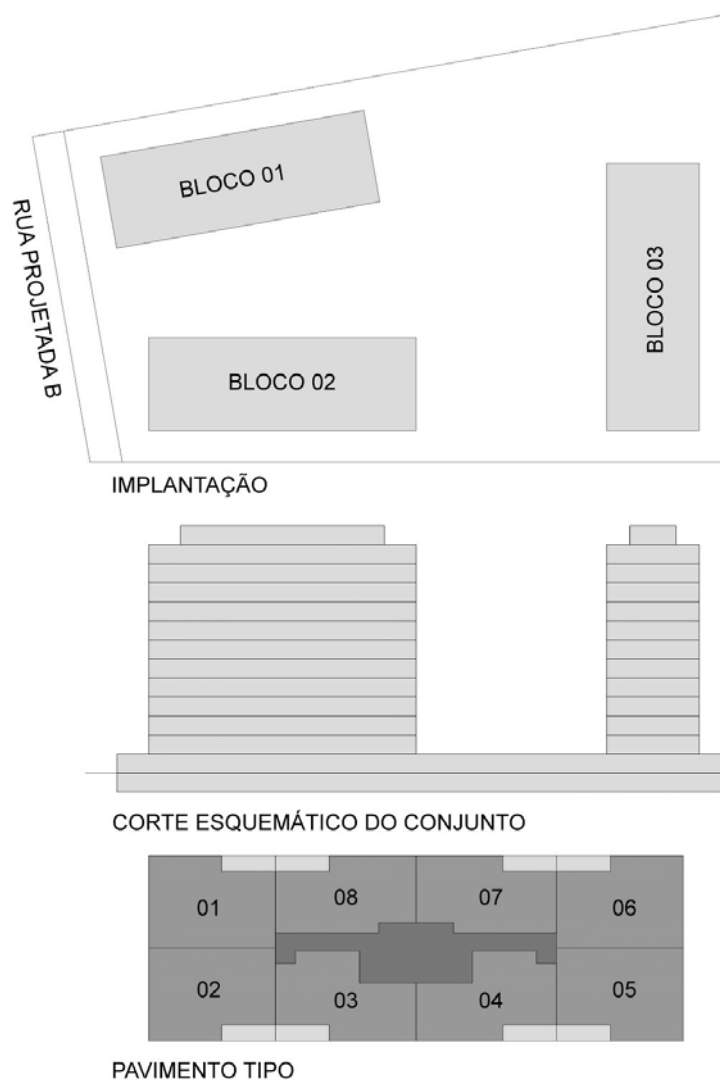
Então, não só o custo de construção do empreendimento é relevante por si só, como também o é a sua participação na precificação do terreno, sendo essencial a precisão de sua estimativa para minimizar o risco de comprometimento do retorno esperado para o investimento e, ao mesmo tempo, garantir a competitividade na prospecção de terrenos. Um custo subestimado, resulta em uma precificação competitiva do terreno, mas implica em adicionais de custo futuros ao longo da execução, que irão reduzir as margens de lucro previstas. Por outro lado, um custo superestimado, pode implicar numa precificação baixa e pouco competitiva para o terreno, inviabilizando o negócio.

Os estudos de viabilidade de um empreendimento imobiliário normalmente antecedem a aquisição de um terreno e são realizados com base em um estudo preliminar do projeto de Arquitetura da edificação, denominado estudo de massa. O estudo de massa compatibiliza o potencial construtivo do terreno, apurado na legislação urbanística, com a definição do produto, baseada em pesquisas de mercado. O projeto nessa fase tem nível de detalhamento como o exemplo apresentado na Fig. 1, que é acompanhado de um quadro de áreas fechadas, cobertas abertas e descobertas, privativas e não privativas, que são utilizadas para balizar as estimativas de custo de construção e valor geral de vendas (VGV).

---

<sup>1</sup> Em empreendimentos de padrão médio.

<sup>2</sup> Taxa mínima de atratividade: Taxa de desconto do fluxo de caixa, compatível com a natureza e características do empreendimento, bem como com a expectativa mínima de emulação do empreendedor, em face da sua carteira de ativos. (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2002).

*Figura 1: Estudo de Massa: projeto*

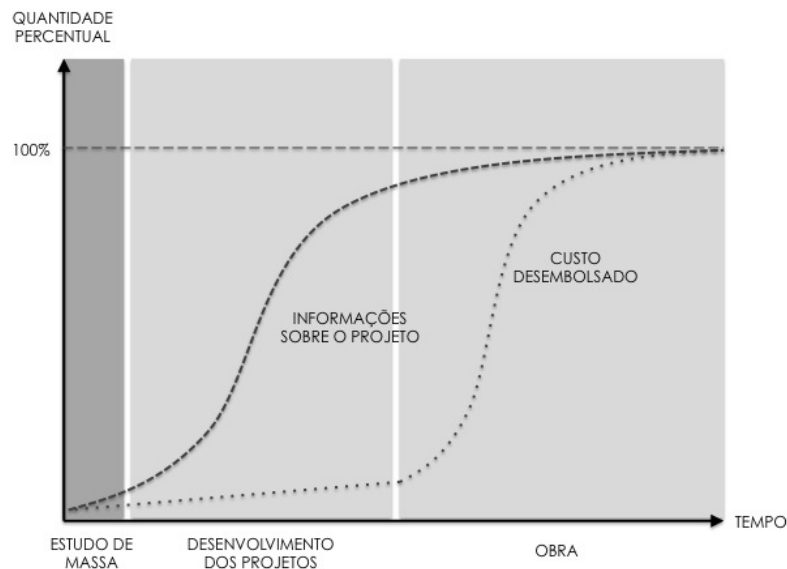
## 2. COMPETITIVIDADE E RISCO

O volume de informações sobre um projeto cresce ao longo do seu desenvolvimento. As práticas convencionais de estimativas de custo condicionam a precisão da estimativa ao volume de informações sobre o projeto, necessariamente baixo na fase de estudo de massa, em que o projeto é pouco detalhado, tornando inviável a estimativa dos custos por meio da quantificação de todos os insumos e serviços necessários para sua construção. Na visão convencional, a curva representativa da precisão da estimativa seria próxima à curva do volume de informações sobre o projeto apresentada na Fig. 2, invariavelmente baixa na fase de estudo de massa.

É neste momento do desenvolvimento de um empreendimento que o negócio é planejado financeiramente. Não conhecer os custos comprometidos pelas decisões até então tomadas é um risco com o qual o desenvolvedor de empreendimentos imobiliários se acostumou a conviver. O recurso óbvio para aumentar a precisão de uma estimativa de custo seria, portanto, avançar no

desenvolvimento do projeto. Essa visão coloca agilidade e precisão em situação dicotômica e traz graves consequências.

*Figura 2: Volume de Informação ao longo do desenvolvimento do empreendimento*



Quem opta por precisão, perde tempo e dinheiro com o desenvolvimento dos projetos e das estimativas, perdendo agilidade na tomada de decisão e comprometendo a competitividade na aquisição de terrenos. Quem opta por agilidade, quando subdimensiona o custo, corre alto risco do custo estimado não se concretizar, comprometendo o retorno projetado para o investimento. Já quando super dimensiona o custo, corre o risco de inviabilizar um bom negócio, seja por conta de uma precificação do terreno não competitiva, seja por conta de uma taxa interna de retorno<sup>3</sup> não atrativa. Neste caso, quando viabiliza o negócio, corre o risco de fazê-lo sem a maximização do retorno do investimento, resultante de um custo elevado autorizado por uma verba excessiva travestida de estimativa de custo precisa. Em todos os casos, a dicotomia entre agilidade e precisão resulta na incapacidade de desenvolver e analisar diversas alternativas em busca de uma melhor relação despesa/receita para o empreendimento, comprometendo a possibilidade de maximização dos seus resultados.

### 3. ATORES ENVOLVIDOS

Não só o empreendedor sofre as consequências relativas à dicotomia competitividade /risco. O desenvolvimento de um produto imobiliário é uma tarefa complexa, que envolve diversos atores de forma integrada. Caracteriza-se como empreendedor aquele que desenvolve o negócio imobiliário, investindo recursos em busca do retorno do investimento, assumindo o risco do

<sup>3</sup> Taxa interna de retorno: Este indicador de viabilidade é expresso pela taxa de desconto que anula o valor presente do fluxo de caixa projetado no horizonte do empreendimento, incluindo o valor do investimento a realizar. (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011).

negócio. Em grades empresas incorporadoras esse papel é executado pelo setor de novos negócios. Não raro, o empreendedor busca investidores externos para seus empreendimentos. Tais investidores podem ser empresas de desenvolvimento imobiliário parceiras, fundos imobiliários e até mesmo o proprietário do terreno quando esse é negociado na forma de permuta física ou financeira, na qual a remuneração do terreno é feita na forma de uma participação do proprietário no resultado financeiro do negócio imobiliário nele empreendido.

Tanto o empreendedor quanto os investidores, sejam eles diretos ou indiretos, compartilham do mesmo objetivo: realizar negócios viáveis financeiramente, ou seja, com taxa interna de retorno maior que outras oportunidades de investimento de igual risco. Entretanto, a decisão de investir em negócios estruturados por terceiros esbarra na confiabilidade dos parâmetros utilizados no estudo de viabilidade, normalmente fornecidos pelo captador do investimento.

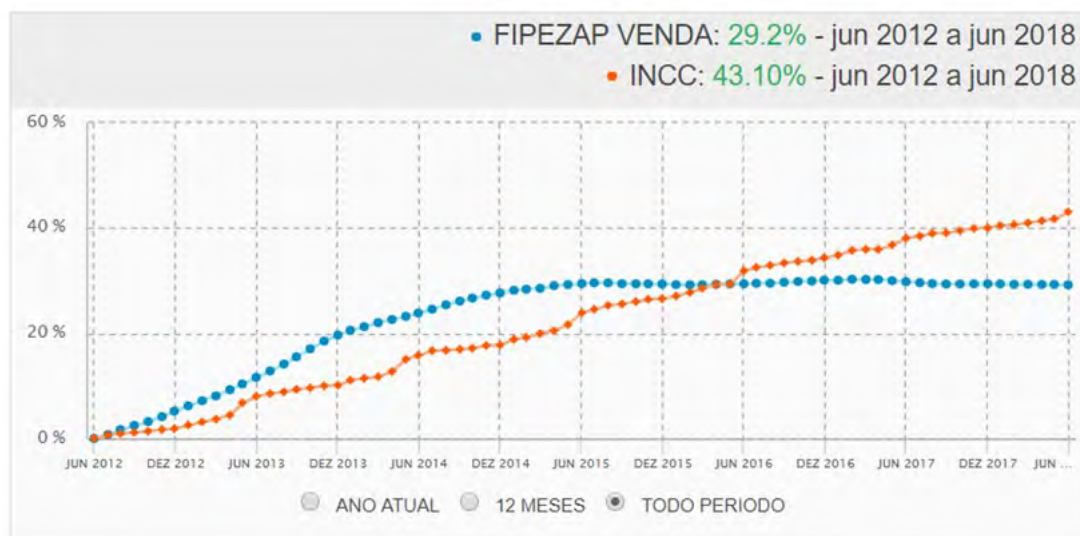
O custo de construção é o principal parâmetro relativo a desembolso do fluxo de caixa. Diferente do parâmetro de preço e velocidade de venda, que normalmente é balizado em pesquisa de mercado, o custo de construção costuma balizar-se na experiência prévia do construtor. Esse personagem, a princípio, teria a tendência de super dimensionar as estimativas pois ela é a régua que será utilizada para medir sua performance em relação aos custos ao final da obra. Sob essa perspectiva, contar com o construtor para essa estimativa pareceria arriscado e o caminho ideal seria a busca por parâmetros de mercado para balizar os custos.

Normalmente o superdimensionamento não é factível pois inviabilizaria o negócio e a utilização da experiência prévia do construtor se mostra vantajosa na busca de uma maior aderência aos custos específicos da realidade daquela empresa, como sua produtividade, política de salários, desperdícios de material, etc. No entanto, tal experiência é normalmente acessada de forma não sistematizada, muitas vezes apoiada no conhecimento tácito das equipes de engenharia. Para um investidor externo é essencial que o parâmetro de custo de construção, devido sua significativa participação nos resultados do fluxo de caixa projetado, seja confiável.

Um recurso para aumentar a segurança em relação às estimativas é transferir o risco ao construtor, contratando a execução da obra por empreitada global, ainda durante os estudos preliminares do projeto. Esse cenário transfere para o construtor a dicotomia agilidade e precisão na disputa comercial pelo contrato de construção. É comum, no entanto, os construtores se protegerem nesses casos com cláusulas que permitam a revisão dos orçamentos no caso de quaisquer mudanças no projeto. O que acontece na prática é que os projetos preliminares sempre são alterados por motivos diversos, como exigências legais, demandas do mercado, viabilidade técnica, etc, o que abre portas para aditivos ao contrato e faz com que a transferência do risco não se concretize.

A imprecisão das estimativas preliminares de custo de construção sempre esteve presente no mercado de Real Estate, mas é crescente seu impacto no resultado dos negócios. Por um longo período a elasticidade do preço de venda foi capaz de absorver os custos adicionais sem comprometer o resultado. Conforme apresentado na Fig. 3, desde 2016 o custo de construção cresce mais que o preço de venda, o que torna a precisão das estimativas preliminares essencial.

Figura 3: Variação do índice FIPE-ZAP e do INCC



#### 4. ESTIMATIVA DOS CUSTOS PRELIMINARES

Na impossibilidade de avançar no desenvolvimento dos projetos, a saída para realizar as estimativas do custo de construção encontrada pelos desenvolvedores é utilizar empreendimentos realizados previamente como referência para uma comparação. Diante da variabilidade de projetos, com consequentes variabilidades nos custos, utiliza-se os recursos da classificação por tipos<sup>4</sup> e do uso da área equivalente<sup>5</sup>. A classificação por tipos visa restringir a variabilidade da amostra e, conseqüentemente, aumentar a precisão das estimativas. Quanto mais detalhados forem os tipos, menor a variabilidade (razão entre o maior valor e o menor valor) e maior a precisão. Na prática, os tipos costumam considerar atributos de uso e padrão de acabamento (por exemplo: residencial padrão médio, comercial padrão alto). Já a área equivalente é uma área ponderada em função das diferenças de custo de ambientes com características diversas em um mesmo projeto. No entanto, tanto a restrição tipológica quanto a ponderação da área são normalmente realizadas de forma não sistematizada, muitas vezes apoiada no conhecimento tácito das equipes de engenharia.

A Tab. 1 apresenta duas amostras de empreendimentos realizados por uma incorporadora e construtora com mais de 65 anos de experiência, com mais de 500 edificações construídas que

<sup>4</sup> O Termo tipo aqui empregado refere-se a uma caracterização do projeto, usualmente nomeada equivocadamente como tipologia. Tipologia é a ciência que estuda os tipos e é muito usada na área de estudos sistemáticos, para definir diferentes categorias. No âmbito das estimativas de custo, a classificação tipológica pretende a redução da variabilidade de uma amostra de edifícios de referência, de forma nela facilitar o posicionamento adequado de um edifício em análise. O termo tipologia é comumente aplicado de forma equivocada para designar tipo e costuma incluir na classificação, além dos tipos formais e funcionais, tecnologias construtivas e padrão de acabamento.

<sup>5</sup> O termo área equivalente é definido na Norma NBR 12721 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2006) como uma área virtual cujo custo de construção é equivalente ao custo da respectiva área real, utilizada quando este custo é diferente do custo unitário básico da construção adotado como referência.



somam mais de 10 milhões de metros quadrados. A coluna 1 apresenta a variabilidade de custos unitários em uma amostra de 18 empreendimentos residenciais de padrão médio e a coluna 2, de uma amostra de 7 empreendimentos comerciais padrão médio, ambas as amostras de empreendimentos realizados no Estado do Rio de Janeiro com obras iniciadas entre os anos de 2011 e 2014.

Tabela 1: Variabilidade de custos unitários em INCC de uma amostra de 18 empreendimentos residenciais padrão médio

RESIDENCIAL			COMERCIAL		
EMPREENDIMENTO	CUSTO UNITÁRIO (EM INCC)		EMPREENDIMENTO	CUSTO UNITÁRIO (EM INCC)	
	ÁREA EQUIVALENTE	ÁREA REAL		ÁREA EQUIVALENTE	ÁREA REAL
1	4,56 / m <sup>2</sup>	3,60 / m <sup>2</sup>	1	6,89 / m <sup>2</sup>	5,10 / m <sup>2</sup>
2	4,36 / m <sup>2</sup>	3,44 / m <sup>2</sup>	2	3,85 / m <sup>2</sup>	3,04 / m <sup>2</sup>
3	3,65 / m <sup>2</sup>	2,49 / m <sup>2</sup>	3	3,63 / m <sup>2</sup>	2,68 / m <sup>2</sup>
4	3,43 / m <sup>2</sup>	1,84 / m <sup>2</sup>	4	4,83 / m <sup>2</sup>	3,47 / m <sup>2</sup>
5	4,56 / m <sup>2</sup>	2,79 / m <sup>2</sup>	5	6,30 / m <sup>2</sup>	3,71 / m <sup>2</sup>
6	3,81 / m <sup>2</sup>	2,08 / m <sup>2</sup>	6	5,65 / m <sup>2</sup>	4,95 / m <sup>2</sup>
7	4,06 / m <sup>2</sup>	3,05 / m <sup>2</sup>	7	4,78 / m <sup>2</sup>	3,85 / m <sup>2</sup>
8	4,88 / m <sup>2</sup>	3,54 / m <sup>2</sup>			
9	4,16 / m <sup>2</sup>	3,20 / m <sup>2</sup>			
10	3,78 / m <sup>2</sup>	2,80 / m <sup>2</sup>			
11	4,32 / m <sup>2</sup>	3,51 / m <sup>2</sup>			
12	4,08 / m <sup>2</sup>	3,44 / m <sup>2</sup>			
13	4,38 / m <sup>2</sup>	3,67 / m <sup>2</sup>			
14	4,09 / m <sup>2</sup>	3,47 / m <sup>2</sup>			
15	4,13 / m <sup>2</sup>	3,44 / m <sup>2</sup>			
16	4,10 / m <sup>2</sup>	3,42 / m <sup>2</sup>			
17	3,76 / m <sup>2</sup>	3,16 / m <sup>2</sup>			
18	4,01 / m <sup>2</sup>	3,34 / m <sup>2</sup>			
VARIABILIDADE	42,33%	100,00%	VARIABILIDADE	89,50%	90,29%

Vale observar que o recurso da equivalência de área reduziu a variabilidade na amostra de empreendimentos residenciais, mas não teve quase nenhum efeito na amostra de empreendimentos comerciais. Mesmo na amostra de empreendimentos residenciais, apesar do recurso da equivalência de área reduzir significativamente a variabilidade do custo unitário, estamos ainda lidando com mais de 40% de diferença entre o menor e o maior custo, dos quais podem resultar desvios de até 20% em estimativas baseadas na média dos dados. No caso da amostra de empreendimentos comerciais a situação é ainda mais dramática, com desvios de até 45%, capazes de superar todo o retorno previsto para o investimento em um empreendimento imobiliário.

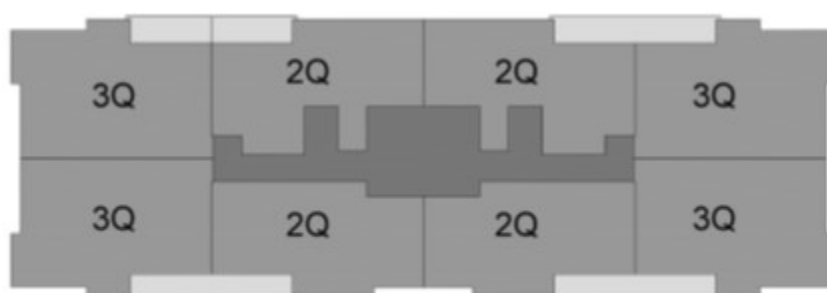
Classificações tipológicas mais detalhadas infelizmente não são garantia de precisão, podendo a variabilidade do custo ser ainda muito alta, conforme exemplo da Fig. 4 que apresenta as plantas baixas do pavimento tipo de dois empreendimentos de uma Incorporadora e Construtora com mais de 70 anos de experiência. Os custos estimados para o empreendimento 2 utilizaram a experiência do empreendimento 1 como referência. Ambos os empreendimentos tinham cinco pavimentos, mesmo sistema de circulação, mesmo sistema construtivo e mesmo padrão de acabamento e foram construídos no mesmo bairro da mesma cidade, pela mesma construtora, em datas próximas. Apesar disso o empreendimento 2 apresentava desvio de 10% entre o custo estimado e o custo realizado, o que mostra que mesmo restrições tipológicas tão detalhadas, ainda podem apresentar variabilidade significativa de custos.



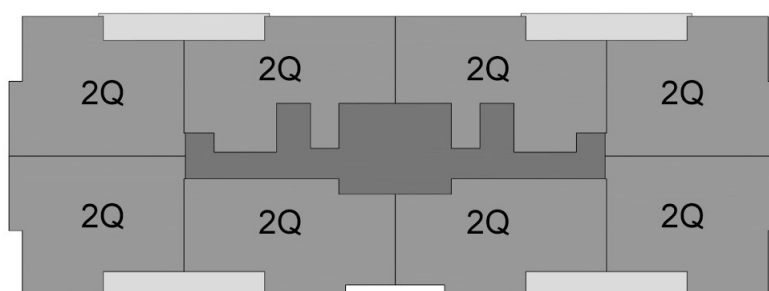
Figura 4: Plantas baixas de uma amostra de 3 empreendimentos residenciais de mesma classificação tipológica.



Empreendimento 1 – Pavimento tipo do bloco A



Empreendimento 1 – Pavimento tipo do bloco B



Empreendimento 2 – Pavimento tipo

Num olhar mais apurado sobre as edificações da Fig. 4, é possível observar, na Tab. 2, as diferenças das densidades de vedações internas (e revestimentos internos), de vedações externas (e revestimento de fachadas) e de elevadores por metro quadrado de área construída. Tais diferenças nas características das edificações justificam diferenças significativas nos seus custos de construção, embora todas elas estejam enquadradas em uma mesma classificação tipológica bastante detalhada. Conclui-se, portanto, que a comparação simples entre os custos de empreendimentos similares é bastante arriscada, mesmo quando utilizada restrição tipológica bastante detalhada. Para um nível de precisão elevado da estimativa, seria necessário um

empreendimento de referência idêntico ao empreendimento em análise, na maioria das vezes não disponível.

Tabela 2: Variabilidade da densidade de elementos e/ou equipamentos construtivos em uma amostra de 3 empreendimentos residenciais de mesma classificação tipológica.

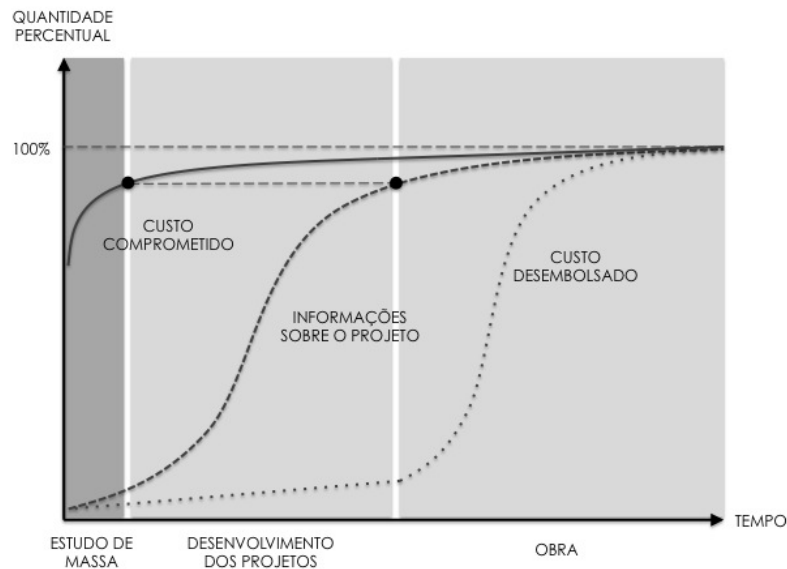
	Quantidade	A	B	C	Variação percentual
Absoluta	área total construída (ATC)	761,94	614,69	584,15	30,44%
	área fechada	713,92	567,07	536,52	33,06%
	pé direito	2,70	2,80	2,75	3,70%
	perímetro externo	143,48	119,68	112,48	27,56%
	área de parede externa (APE)	387,40	335,10	309,32	25,24%
	quantidade de cômodos	71	59	55	29,09%
	área média dos cômodos	10,06	9,61	9,75	4,62%
	área de parede interna (API)	1409,46	1191,86	1099,45	28,20%
	elevadores	8	8	8	0,00%
Relativa (/m <sup>2</sup> de ATC)	APE/m <sup>2</sup>	0,508434	0,545159	0,529522	7,22%
	API/m <sup>2</sup>	1,849828	1,938968	1,882143	4,82%
	elevadores/m <sup>2</sup>	0,010500	0,013015	0,013695	30,44%

As densidades de área de parede externa, área de parede interna e elevadores por área construída apresentadas na Tab. 2 fazem com que o custo de construção por área construída varie. Tais densidades já estão definidas no projeto quando esse está desenvolvido ainda no nível de estudo de massa e já comprometem significativamente o custo de construção.

O comprometimento do custo final não se dá conforme o desenvolvimento do projeto, sendo muito alta a parcela comprometida nas decisões preliminares. Segundo Rozenfeld et al (2006) o comprometimento do custo total de fabricação de um produto chega a 90% durante o período de desenvolvimento que antecede a produção. O percentual do custo total comprometido nas fases preliminares variam entre diferentes produtos, empresas ou indústrias, mas é fato que decisões iniciais têm uma forte influência no custo total de fabricação de um produto. Isso se dá porque um projeto parte sempre de decisões gerais para seu detalhamento. Cada decisão geral contém em si diversas implicações que, mesmo que não conhecidas ou consideradas ainda, já participam do comprometimento do custo.

O recurso da parametrização permite relacionar as poucas informações sobre o projeto disponíveis no estudo de massa ao comprometimento do custo, já muito alto nessa etapa de desenvolvimento, conforme apresentado na Fig. 4. Com o uso da parametrização, a curva da precisão da estimativa pode se deslocar das proximidades da curva de informações sobre o projeto para as proximidades da curva de custo comprometido. Independente do volume de informações sobre o projeto disponível, a precisão das estimativas dependerá tão somente da eficiência da parametrização, dada pelo poder de predição do modelo e pela significância das suas variáveis explicativas. Tal eficiência dependerá, por sua vez, da amostra de dados de referência, das variáveis adotadas e do tratamento dispensado aos dados. Apesar do potencial da parametrização para resolver o problema da precisão das estimativas preliminares, seu sucesso depende dos fatores anteriormente listados. Para um investidor externo o problema da confiabilidade permanecerá.

*Figura 4: Comprometimento do custo e volume de Informação ao longo do desenvolvimento do empreendimento*



O método comparativo direto de dados preconizado pela norma NBR 14653/2011 – Avaliação de Bens, da ABNT, e amplamente aplicado e difundido para a identificação de preço de venda de mercado é aplicável também para a identificação de custo. Tal método pode produzir modelo paramétrico eficiente capaz de entregar estimativas precisas e confiáveis.

## 5. O MÉTODO COMPARATIVO DIRETO DE DADOS

O método comparativo direto de dados preconizado pela norma NBR 14653-2/2011 - Avaliação de bens – parte 2, da ABNT, é amplamente aplicado e difundido para a identificação do valor de um bem, de seus frutos e direitos. A norma dispõe também sobre a possibilidade de utilização do método comparativo direto para a identificação do custo, conforme a seguir:

A utilização do método comparativo direto para a avaliação de custos deve considerar uma amostra composta por imóveis de projetos semelhantes, a partir da qual são elaborados modelos que seguem os procedimentos usuais do método comparativo direto de dados de mercado. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011)

Para o método comparativo direto de dados de mercado a norma prevê a utilização de variadas técnicas:

- Tratamento científico por meio de modelos de regressão linear simples
- Tratamento científico por meio de modelos de regressão linear múltipla
- Tratamento científico por meio de modelos de regressão espacial
- Tratamento por fatores

- Tratamento científico por meio da análise envoltória de dados
- Tratamento científico por meio da Rede neural artificial

Dentre elas, a utilização de modelos de regressão linear e o tratamento por fatores possuem procedimentos normatizados, enquanto sobre as demais técnicas há na norma apenas recomendações informativas. Os mesmos procedimentos adotados para a identificação do valor se prestam para a identificação do custo por meio da comparação de dados de projetos de referência. Basta que as dimensões características comparadas sejam representativas do custo, enquanto na identificação do valor de um bem elas são representativas do valor de mercado.

Segundo a norma brasileira, em um modelo linear para representar o mercado, a variável dependente é expressa por uma combinação linear das variáveis independentes, em escala original ou transformada, e respectivas estimativas dos parâmetros populacionais, acrescida de erro aleatório. Tais erros podem ser oriundos de efeitos de variáveis não detectadas e de variáveis irrelevantes não incluídas no modelo, imperfeições acidentais de observação ou de medida, ou ainda variações do comportamento humano, como habilidades diversas de negociação, desejos, necessidades, compulsões, caprichos, ansiedades, diferenças de poder aquisitivo, diferenças culturais, entre outros. Já os parâmetros populacionais são estimados por inferência estatística com base em uma amostra extraída do mercado.

No modelo de regressão linear simples relaciona-se a variável dependente à apenas uma variável independente. Já no modelo de regressão linear múltipla relaciona-se a variável dependente a duas ou mais variáveis independentes. Assim, o modelo é capaz de considerar a influência de mais de uma característica, ao mesmo tempo, seja na identificação do valor de um bem, seja na identificação do custo de uma edificação.

Segundo a Norma NBR 14653-2 (ABNT, 2011) “a técnica mais utilizada quando se deseja estudar o comportamento de uma variável dependente em relação a outras que são responsáveis pela variabilidade observada nos preços é a análise de regressão”. Da mesma forma, quando se deseja estudar o comportamento de uma variável dependente em relação a outras que são responsáveis pela variabilidade observada nos custos, pode-se utilizar a técnica de análise de regressão. Ainda segundo a norma brasileira, para a identificação do valor de um bem, “no modelo linear para representar o mercado, a variável dependente é expressa por uma combinação linear das variáveis independentes, em escala original ou transformada, e respectivas estimativas dos parâmetros populacionais, acrescida de erro aleatório”. Da mesma forma, se comportará o modelo linear para a identificação do custo, com tais parâmetros populacionais estimados por inferência estatística a partir de uma amostra de dados. A possibilidade oferecida pela regressão linear múltipla, de consideração concomitante de diversas características na identificação do custo, contribui para a precisão das estimativas já que são muitas as variáveis que influenciam no custo de uma edificação, ou mesmo de suas partes. A forma final de um modelo de regressão é a de uma função linear conforme a Eq. 1 apresentada a seguir:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_4 + B_nX_n \quad (1)$$

Onde:

Y = Variável dependente (em escala original)

X<sub>i</sub> = Cada uma das variáveis independentes (em escala original ou transformada)

B<sub>i</sub> = Coeficiente que representam os parâmetros populacionais, estimados por inferência estatística com base na amostra de dados.

Entenda-se como escala transformada de uma variável  $X_i$ , a sua consideração nas formas inversa ( $1/X_i$ ), logarítmica ( $\log X_i$ ), exponencial ( $e^{X_i}$ ) etc.

No caso de modelos para a identificação de valor, a variável dependente  $Y$  é o preço de venda (global ou unitário) enquanto as variáveis independentes  $X_i$  são os fatores que interferem na variação do preço de venda, tais como: localização, tamanho, idade, quantidade de quartos, padrão de acabamento, presença ou não de suítes, varanda, vaga de estacionamento, área de lazer no condomínio, etc. Os coeficientes  $B_i$  são os parâmetros populacionais desses fatores, ou seja, o peso de cada um desses fatores na definição do preço de venda, apurados por inferência estatística em uma amostra representativa de dados de mercado (fatores e preços de diversos imóveis anunciados ou transacionados).

No caso de modelos para a identificação do custo, a variável dependente  $Y$  é o custo de construção (global ou unitário) enquanto as variáveis independentes  $X_i$  são os fatores que interferem na variação do custo, tais como as listadas na Tab. 3. Os coeficientes  $B_i$  são os parâmetros populacionais desses fatores, ou seja, o peso de cada um desses fatores na definição do custo, apurados por inferência estatística em uma amostra representativa de dados de referência. Quando os dados de referência são o histórico de empreendimentos de uma construtora temos um modelo que ao mesmo tempo considera a realidade específica daquela empresa mas é confiável para balizar a decisão de investimento de investidores externos à ela.

Tabela 3: Variáveis X Informações do projeto

Variável explicativa	Informações do projeto
Densidade de fachada	área de parede externa por área de piso total
Densidade de compartimentação	área de parede interna por área de piso total
Densidade de contenção	área de parede de contenção por área de piso total
Densidade de escavação	volume de escavação por área de piso total
Densidade de áreas molhadas	área de piso molhada por área de piso total
Proporção de áreas acabadas	área de piso de ambientes acabados por área de piso total
Densidade de cobertura	área de cobertura por área de piso total

## 6. METODOLOGIA CUG

A modelagem CUG é uma metodologia de construção de modelos paramétricos para a estimativa dos custos de construção em fases preliminares do projeto da edificação. A metodologia foi desenvolvida do âmbito de uma pesquisa de mestrado no Programa de Engenharia de Produção da COPPE/UFRJ (LIMA, 2013) e utiliza o método comparativo de dados para a identificação de custo sugerido na NBR 14653-2/2011 - Avaliação de bens – parte 2, da ABNT.

A metodologia utiliza tratamento científico por meio de modelos de regressão linear múltipla para identificar os parâmetros populacionais das variáveis explicativas do custo, evitando que variáveis significativas ou dados da amostra sejam negligenciados. O tratamento permite ainda a identificação de outliers e o saneamento da amostra, evitando que situações de exceção sejam tratadas como regra. O tratamento dos dados históricos de uma construtora evita a memória seletiva inerente ao conhecimento tácito, transformando dados em inteligência e resultando algoritmos capazes de entregar estimativas precisas e fundamentadas, com alto grau de confiabilidade perante analistas de investimento externos à empresa.

## 6.1. Conceitos básicos

A metodologia CUG possui oito conceitos básicos, entre eles a utilização do tratamento científico por regressão linear múltipla.

- **Disponibilidade dos modelos**

Os modelos CUG são pré-concebidos a partir do tratamento de dados de amostras de empreendimentos de referência para dar suporte à futuras estimativas. Dessa forma garante-se a disponibilidade dos modelos e a agilidade das estimativas, que precisam acompanhar a velocidade das tomadas de decisão as quais irá dar suporte.

- **Explicar variabilidade ao invés de restringir a variabilidade.**

O principal conceito da modelagem CUG é não restringir a variabilidade das características da amostra a fim de restringir a variabilidade do custo, e sim explicar a variabilidade do custo em função dessas características. O edifício é um elemento complexo e seu custo de construção é determinado por uma infinidade de características. Na ausência de um empreendimento de referência idêntico ao empreendimento em análise, haverá sempre exemplares de referência semelhantes em algumas características, mas diversos em outras. O recurso da restrição de variabilidade não permite a conjunção de experiências diversas, de forma complementar. Por exemplo:

Se existe na amostra de empreendimentos de referência:

- Edifícios de 20 pavimentos com pé direito de 3m
- Edifícios de 6 pavimentos com pé direito de 5m

Como estimar os custos de um edifício de 20 pavimentos com pé direito de 5m? Ou ainda, Como estimar os custos e um edifício de 14 pavimentos com pé direito de 4m?

Ao explicar a parcela do custo resultante de cada característica passamos a lidar com espaço amostral, o que nos permite estimar os custos de variadas combinações de características, mesmo sem ter na amostra exemplares com a mesma combinação ou valores exatos.

- **Adoção de empreendimentos de referência múltiplos**

Mesmo quando se dispõem de uma experiência prévia idêntica, a utilização de uma referência única nos impede de ter uma análise crítica sobre ela, e eventuais erros, sejam de orçamento, sejam de má condução da execução (no caso de custos realizados), se repetirão.

A partir do momento em que é possível explicar a variabilidade do custo em função das características da edificação, mesmo empreendimentos diferentes daquele em análise podem contribuir para a identificação de comportamentos outliers no empreendimento de referência idêntico, evitando assim a reprodução de estimativas eventualmente equivocadas.

- **Preferência pelo custo unitário como variável explicada, em detrimento do custo global.**

Na adoção do custo global, normalmente a variável "área construída" é preponderante, fazendo com que as demais variáveis explicativas fiquem aparentemente insignificantes. A utilização do custo unitário como variável explicativa permite a identificação de diversas variáveis



complementares, capazes de explicar a variação do custo unitário, aumentando a precisão das estimativas. A variável "área construída", ao ser utilizada em modelos de custo unitário explica a influência do porte na variação do custo, permitindo considerar o fenômeno da economia ou deseconomia de escala nas estimativas.

- **Preferência pelo custo parcial como variável explicada, em detrimento do custo total.**

O desenvolvimento de diversos modelos de custos parciais ao invés de um modelo de custo total permite identificar as variáveis mais significativas para cada centro de custo, que podem parecer insignificantes quando se trabalha com o custo total. Além disso, ao reduzir a quantidade de variáveis explicativas por modelo, aumenta-se a relação entre a quantidade de dados da amostra e quantidade de variáveis explicativas e, conseqüentemente, a qualidade dos modelos e a precisão das estimativas deles resultantes.

- **Adoção de variáveis explicativas geométricas.**

A área de superfície de piso não é capaz de explicar adequadamente a variação dos custos referentes aos planos verticais da edificação, que correspondem a quase o dobro dos custos referentes aos planos horizontais. Variáveis explicativas que relacionem a densidade de elementos verticais, tais como vedações e compartimentações, com as áreas de superfície de piso, são as mais indicadas.

- **Adoção de variáveis explicativas múltiplas concomitantemente.**

Nenhuma variável sozinha é capaz de explicar toda a variação do custo de construção já que esse é multideterminado por diversos fatores. A análise isolada da influência de cada característica na determinação de um custo. é sempre inconclusiva.

- **Utilização do tratamento científico por regressão linear múltipla.**

A regressão linear múltipla permite a identificação dos parâmetros populacionais de diversas variáveis explicativas concomitantemente em uma amostra, possibilitando análises conclusivas sobre a participação de cada variável explicativa na determinação de um custo.

## 6.2. Estudo de caso

A modelagem CUG foi validada em um modelo piloto desenvolvido com dados da incorporadora de uma das maiores construtoras do país, que acumula hoje 80 empreendimentos entregues. Devido a gestão descentralizada da empresa a base de dados disponibilizada contava com apenas 12 empreendimentos da unidade de operação do Rio de Janeiro. Os resultados obtidos na modelagem são apresentados na Figura 8. O primeiro quadro apresenta uma simulação da estimativa de cada projeto se utilizada a média do custo unitário de área construída (ATC) de todos os projetos, com erro médio de 15,70% e erro máximo de 31,57%. O segundo quadro apresenta uma simulação da estimativa de cada projeto se utilizada a média do custo unitário de área equivalente (AEQ) de todos os projetos, com erro médio de 16,33% e erro máximo de 26,78%. Nota-se que o erro médio das estimativas é ainda maior que na ignorância inicial, além de excluir os custos indiretos, de fundações, de instalações mecânicas e de instalações especiais.

Por fim, o terceiro quadro apresenta uma simulação da estimativa de cada projeto se utilizada o modelo CUG, com erro médio de 2,33% e erro máximo de 3,94%. A amostra não tem nenhuma



restrição tipológica, reunindo empreendimentos residenciais de diferentes padrões, hotéis e centro comercial. Nessa conjuntura a estimativa pela média de todos os projetos, seja por área construída, seja por área equivalente, é improvável. A solução usualmente adotada nessa situação é a restrição tipológica relatada no exemplo da Figura 6, em que o desvio entre o custo estimado e o custo realizado foi de 10%. Nota-se que a modelagem CUG tem a capacidade de apresentar desvios reduzidos mesmo com amostras com variedade tipológica.

Os resultados apresentados na Tab. 4 são relativos aos custos totais, no entanto a modelagem CUG foi feita por centro de custos. Para garantir o pressuposto básico da não-micronumerosidade dos modelos estatísticos, para uma amostra de 12 empreendimentos a quantidade máxima de variáveis explicativas seria de 3, o que impedia o desenvolvimento de um modelo de custo total com alto poder de explicação. A solução foi a modelagem por centro de custo, totalizando 21 modelos.

Tabela 4: Resultado da modelagem dos custos totais

Projeto	Dados da amostra			Média do custo unitário ATC				
	Custo total observado	ATC	Custo unitário de ATC observado	Custo unitário estimado	Custo total estimado	Erro absoluto da estimativa do custo total	Erro quadrado da estimativa do custo total	Erro percentual da estimativa do custo total
1	481.212,19	122.309,39	3,934385	4,553547	556.941,56	75.729,37	5.734.937.480,60	15,74%
2	219.245,91	54.620,01	4,014022	4,553547	248.714,78	29.468,87	868.414.299,08	13,44%
3	396.200,41	92.232,13	4,295688	4,553547	419.983,34	23.782,93	565.627.759,38	6,00%
4	327.848,49	81.362,54	4,029477	4,553547	370.488,15	42.639,66	1.818.140.604,92	13,01%
5	543.172,24	139.762,42	3,886397	4,553547	636.414,75	93.242,51	8.694.165.671,10	17,17%
6	454.228,45	116.237,76	3,907753	4,553547	529.294,10	75.065,65	5.634.851.809,92	16,53%
7	501.844,16	129.912,08	3,862952	4,553547	591.560,76	89.716,60	8.049.068.315,56	17,88%
8	271.637,39	66.912,53	4,059589	4,553547	304.689,35	33.051,96	1.092.432.059,84	12,17%
9	230.952,94	36.106,73	6,396396	4,553547	164.413,69	-66.539,25	4.427.471.790,56	-28,81%
10	539.474,90	103.645,82	5,204985	4,553547	471.956,11	-67.518,79	4.558.787.003,06	-12,52%
11	91.971,11	20.916,72	4,397014	4,553547	95.245,27	3.274,16	10.720.123,71	3,56%
12	182.206,77	27.383,41	6,653911	4,553547	124.691,64	-57.515,13	3.307.990.178,92	-31,57%
Média	353.332,91		4,553547			SQR=	44.762.607.096,65	Erro médio=
Maior valor	543.172,24		6,653911					15,70%
Menor valor	91.971,11		3,862952					
Amplitude	451.201,13		2,790959					
Amplitude / menor valor	490,59%		72,25%					

Projeto	Dados da amostra			Média do custo unitário AEQ				
	Custo total observado	AEQ	Custo unitário de AEQ observado	Custo unitário estimado	Custo total estimado	Erro absoluto da estimativa do custo total	Erro quadrado da estimativa do custo total	Erro percentual da estimativa do custo total
1	367328,38	121.534,27	3,022426	3,120837	379.288,65	11.960,27	143.048.058,47	3,26%
2	158859,78	55.729,98	2,850526	3,120837	173.924,18	15.064,40	226.936.147,36	9,48%
3	275206,46	92.688,26	2,969162	3,120837	289.264,95	14.058,49	197.641.141,08	5,11%
4	232571,46	81.890,23	2,840039	3,120837	255.566,06	22.994,60	528.751.629,16	9,89%
5	378557,41	137.293,15	2,757293	3,120837	428.469,54	49.912,13	2.491.220.721,14	13,18%
6	324604,26	114.512,00	2,834675	3,120837	357.373,29	32.769,03	1.073.809.327,14	10,10%
7	333190,14	131.451,14	2,534707	3,120837	410.237,58	77.047,44	5.936.308.010,55	23,12%
8	182940,89	69.890,49	2,617536	3,120837	218.116,83	35.175,94	1.237.346.754,88	19,23%
9	147562,12	35.982,72	4,100916	3,120837	112.296,20	-35.265,92	1.243.685.113,45	-23,90%
10	385314,45	91.946,03	4,190659	3,120837	286.948,57	-98.365,88	9.675.846.348,17	-25,53%
11	59864,39	24.236,53	2,470007	3,120837	75.638,26	15.773,87	248.814.974,78	26,35%
12	131190,75	30.780,76	4,262102	3,120837	96.061,73	-35.129,02	1.234.048.046,16	-26,78%
Média	248.099,21		3,120837			SQR=	24.237.456.272,34	Erro médio=
Maior valor	385.314,45		4,262102					16,33%
Menor valor	59.864,39		2,470007					
Amplitude	325.450,06		1,792095					
Amplitude / menor valor	543,65%		72,55%					

+ custo indireto + fundações + instalações mecânicas + ar condicionado

Projeto	Dados da amostra			Modelo CUG total			
	Custo total observado	ATC	Custo unitário de ATC observado	total estimado	Erro absoluto da estimativa do custo total	Erro quadrado da estimativa do custo total	Erro percentual da estimativa do custo total
1	481.212,19	122.309,39	3,934385	483.473,55	2.261,36	5.113.749,05	0,47%
2	219.245,91	54.620,01	4,014022	226.033,28	6.787,37	46.068.391,52	3,10%
3	396.200,41	92.232,13	4,295688	380.604,91	-15.595,50	243.219.620,25	-3,94%
4	327.848,49	81.362,54	4,029477	340.680,45	12.831,96	164.659.197,44	3,91%
5	543.172,24	139.762,42	3,886397	544.407,62	1.235,38	1.526.163,74	0,23%
6	454.228,45	116.237,76	3,907753	465.465,21	11.236,76	126.264.775,30	2,47%
7	501.844,16	129.912,08	3,862952	521.332,86	19.488,70	379.809.427,69	3,88%
8	271.637,39	66.912,53	4,059589	273.013,28	1.375,89	1.893.073,29	0,51%
9	230.952,94	36.106,73	6,396396	229.944,27	-1.008,67	1.017.415,17	-0,44%
10	539.474,90	103.645,82	5,204985	528.950,79	-10.524,11	110.756.891,29	-1,95%
11	91.971,11	20.916,72	4,397014	94.901,17	2.930,06	8.585.251,60	3,19%
12	182.206,77	27.383,41	6,653911	175.154,13	-7.052,64	49.739.730,97	-3,87%
Média	353.332,91		4,553547		SQR=	1.138.653.687,31	Erro médio=
Maior valor	543.172,24		6,653911	% de redução da incerteza ATC=		97,46%	incerteza final=
Menor valor	91.971,11		3,862952	% de redução da incerteza AEQ=		95,30%	incerteza final=
Amplitude	451.201,13		2,790959	4.263.961,52			4,70%
Amplitude / menor valor	490,59%		72,25%				

A Tab. 5 apresenta os resultados do centro de custo “custos indiretos”, com maior participação no custo total, correspondendo em média a 20,55%. Enquanto o modelo da média da ATC apresentava erro médio de 20,67% e erro máximo de 45,12% o modelo CUG reduziu o erro médio para 6,19% e o erro máximo para 14,87%. As variáveis estudadas foram área de laje, área do lote, área total construída (ATC), duração, perímetro do lote, projeção da edificação, volume de estrutura e volume total construído (VTC) e as variáveis adotadas foram projeção da edificação e volume total construído (VTC), reduzindo a incerteza inicial em 90,95%.

Tabela 5: Resultado da modelagem dos custos parciais do centro de custo “custos indiretos”

Projeto	Dados da amostra			Estimativa do custo total pela média do custo unitário					
	Custo total observado	ATC	Custo unitário de ATC observado	Custo unitário estimado	Custo total estimado	Erro absoluto da estimativa do custo total	Erro quadrado da estimativa do custo total	Erro percentual da estimativa do custo total	
1	94.949,63	122.309,39	0,776307	0,972852	118.988,93	24.039,30	577.887.944,49	25,32%	25,32%
2	40.414,85	54.620,01	0,739928	0,972852	53.137,19	12.722,34	161.857.935,08	31,48%	31,48%
3	83.979,53	92.232,13	0,910524	0,972852	89.728,21	5.748,68	33.047.321,74	6,85%	6,85%
4	66.496,89	81.362,54	0,817291	0,972852	79.153,71	12.656,82	160.195.092,51	19,03%	19,03%
5	111.494,07	139.762,42	0,797740	0,972852	135.968,15	24.474,08	598.980.591,85	21,95%	21,95%
6	85.747,53	116.237,76	0,737691	0,972852	113.082,14	27.334,61	747.180.903,85	31,88%	31,88%
7	100.002,00	129.912,08	0,769767	0,972852	126.385,23	26.383,23	696.074.825,23	26,38%	26,38%
8	66.448,77	66.912,53	0,993069	0,972852	65.095,99	-1.352,78	1.830.013,73	-2,04%	2,04%
9	64.001,54	36.106,73	1,772565	0,972852	35.126,50	-28.875,04	833.767.935,00	-45,12%	45,12%
10	107.020,58	103.645,82	1,032561	0,972852	100.832,04	-6.188,54	38.298.027,33	-5,78%	5,78%
11	25.784,32	20.916,72	1,232713	0,972852	20.348,87	-5.435,45	29.544.116,70	-21,08%	21,08%
12	29.959,31	27.383,41	1,094068	0,972852	26.640,01	-3.319,30	11.017.752,49	-11,08%	11,08%
Média	73.024,92		0,972852			SQR=	3.889.682.460,00	Erro médio=	20,67%
variabilidade									
Maior valor	111.494,07		1,772565						
Menor valor	25.784,32		0,737691						
Amplitude	85.709,75		1,034874						
Amplitude / menor valor	332,41%		140,29%						

Projeto	Dados da amostra			Estimativa do custo total pela sua regressão				
	Custo total observado	ATC	Custo unitário de ATC observado	Custo total estimado	Erro absoluto da estimativa	Erro quadrado da estimativa do custo total	Erro percentual da estimativa	
1	94.949,63	122.309,39	0,776307	94.565,74	-383,89	147.371,53	-0,40%	0,40%
2	40.414,85	54.620,01	0,739928	45.116,23	4.701,38	22.102.973,90	11,63%	11,63%
3	83.979,53	92.232,13	0,910524	78.586,68	-5.392,85	29.082.831,12	-6,42%	6,42%
4	66.496,89	81.362,54	0,817291	70.713,30	4.216,41	17.778.113,29	6,34%	6,34%
5	111.494,07	139.762,42	0,797740	109.235,10	-2.259,97	5.102.945,46	-2,03%	2,03%
6	85.747,53	116.237,76	0,737691	98.495,43	12.747,90	162.508.954,41	14,87%	14,87%
7	100.002,00	129.912,08	0,769767	99.842,23	-159,77	25.526,45	-0,16%	0,16%
8	66.448,77	66.912,53	0,993069	57.096,45	-9.352,32	87.465.889,38	-14,07%	14,07%
9	64.001,54	36.106,73	1,772565	61.092,32	-2.909,22	8.463.561,01	-4,55%	4,55%
10	107.020,58	103.645,82	1,032561	103.077,84	-3.942,74	15.545.198,71	-3,68%	3,68%
11	25.784,32	20.916,72	1,232713	27.180,37	1.396,05	1.948.955,60	5,41%	5,41%
12	29.959,31	27.383,41	1,094068	31.376,04	1.416,73	2.007.123,89	4,73%	4,73%
Média	73.024,92		0,972852		SQR=	352.179.444,75	Erro médio=	6,19%
variabilidade								
Maior valor	111.494,07		1,772565	% de redução da incerteza ATC=		90,95%	incerteza final=	9,05%
Menor valor	25.784,32		0,737691					
Amplitude	85.709,75		1,034874					
Amplitude / menor valor	332,41%		140,29%					

A Tab. 6 apresenta os resultados do centro de custo “estrutura”, com segunda maior participação no custo total, correspondendo em média a 18,14%. Enquanto o modelo da média da ATC apresentava erro médio de 22,13% e erro máximo de 60,08% o modelo CUG reduziu o erro médio para 3,30% e o erro máximo para 7,54%. As variáveis estudadas foram: área de laje, área total construída (ATC), tipo de estrutura, volume de estrutura, volume total construído (VTC) e as variáveis adotadas foram área total construída (ATC), tipo de estrutura, volume total construído (VTC), reduzindo a incerteza inicial em 96,37%. Importante reforçar que tanto o centro de custos “custos indiretos” quanto “estrutura” não tem relação direta com uso e padrão de acabamento, restrições tipológicas mais usualmente adotadas. No centro de custo estrutura, se restringida a amostra para somente os projetos 1 a 7, todos de mesmo uso e padrão, o erro máximo pela média da ATC seria ainda 10,74%, maior do que o do modelo CUG que utiliza a amostra com variação tipológica.



Tabela 6: Resultado da modelagem dos custos parciais do centro de custo “estrutura”

Dados da amostra				Estimativa do custo total pela média do custo unitário					
Projeto	Custo total	ATC	Custo unitário de ATC	Custo unitário estimado	Custo total estimado	Erro absoluto da estimativa do custo total	Erro quadrado da estimativa do custo total	Erro percentual da estimativa do custo total	
1	89.056,79	122.309,39	0,728127	0,817049	99.932,76	10.875,98	118.286.853,99	12,21%	12,21%
2	36.604,16	54.620,01	0,670160	0,817049	44.627,22	8.023,06	64.369.566,08	21,92%	21,92%
3	74.572,68	92.232,13	0,808533	0,817049	75.358,17	785,49	616.996,74	1,05%	1,05%
4	58.131,59	81.362,54	0,714476	0,817049	66.477,18	8.345,59	69.648.889,44	14,36%	14,36%
5	94.535,08	139.762,42	0,676398	0,817049	114.192,75	19.657,66	386.423.634,88	20,79%	20,79%
6	86.465,46	116.237,76	0,743867	0,817049	94.971,95	8.506,49	72.360.304,66	9,84%	9,84%
7	92.243,28	129.912,08	0,710044	0,817049	106.144,53	13.901,26	193.244.959,65	15,07%	15,07%
8	45.796,74	66.912,53	0,684427	0,817049	54.670,82	8.874,07	78.749.183,64	19,38%	19,38%
9	44.427,22	36.106,73	1,230442	0,817049	29.500,97	-14.926,25	222.793.085,22	-33,60%	33,60%
10	105.145,87	103.645,82	1,014473	0,817049	84.683,71	-20.462,15	418.699.753,56	-19,46%	19,46%
11	10.675,63	20.916,72	0,510387	0,817049	17.089,99	6.414,35	41.143.921,98	60,08%	60,08%
12	35.961,36	27.383,41	1,313253	0,817049	22.373,59	-13.587,77	184.627.502,58	-37,78%	37,78%
Média	64.467,99		0,817049			SQR=	1.850.964.652,42	Erro médio=	22,13%
variabilidade	Maior valor	105.145,87	1,313253						
	Menor valor	10.675,63	0,510387						
	Amplitude	94.470,24	0,802866						
	Amplitude / menor valor	884,91%	157,31%						

Dados da amostra				Estimativa do custo total pela sua regressão			
Projeto	Custo total	ATC	Custo unitário de ATC	Custo total estimado	Erro absoluto da estimativa	Erro quadrado da estimativa do custo total	Erro percentual da estimativa
1	89.056,79	122.309,39	0,728127	88.665,76	-391,03	152.904,46	-0,44%
2	36.604,16	54.620,01	0,670160	35.796,16	-808,00	652.864,00	-2,21%
3	74.572,68	92.232,13	0,808533	68.951,59	-5.621,09	31.596.652,79	-7,54%
4	58.131,59	81.362,54	0,714476	60.207,98	2.076,39	4.311.395,43	3,57%
5	94.535,08	139.762,42	0,676398	98.550,66	4.015,58	16.124.882,74	4,25%
6	86.465,46	116.237,76	0,743867	84.935,84	-1.529,62	2.339.737,34	-1,77%
7	92.243,28	129.912,08	0,710044	92.715,69	472,41	223.171,21	0,51%
8	45.796,74	66.912,53	0,684427	48.409,57	2.612,83	6.826.880,61	5,71%
9	44.427,22	36.106,73	1,230442	45.458,14	1.030,92	1.062.796,05	2,32%
10	105.145,87	103.645,82	1,014473	103.469,81	-1.676,06	2.809.177,12	-1,59%
11	10.675,63	20.916,72	0,510387	9.831,53	-844,10	712.504,81	-7,91%
12	35.961,36	27.383,41	1,313254	36.606,46	645,10	416.154,01	1,79%
Média	64.467,99		0,817049		SQR=	67.229.120,57	Erro médio=
variabilidade	Maior valor	105.145,87	1,313254	% de redução da incerteza ATC=		96,37%	incerteza final=
	Menor valor	10.675,63	0,510387				3,63%
	Amplitude	94.470,24	0,802867				
	Amplitude / menor valor	884,91%	157,31%				

Na modelagem do centro de custo “fundações” apresentada na Tab. 7, a questão da confiabilidade da modelagem CUG ficou evidente. Foram estudadas as variáveis área de laje, área total construída (ATC), profundidade média dos furos de sondagem, projeção da edificação, volume de estrutura, volume total construído (VTC) e adotadas as variáveis profundidade média dos furos de sondagem, projeção da edificação, volume total construído (VTC). Na amostra inicialmente estudada, com os 12 empreendimentos, o modelo da média de ATC, apresentava desvios muito elevados nos projetos 01 e 11. A modelagem CUG reduziu tais desvios, mas eles eram ainda significativos nesses dois projetos.

Tabela 7: Resultado da modelagem dos custos parciais do centro de custo “fundações” – 12 dados

Dados da amostra				Estimativa do custo total pela média do custo unitário					
Projeto	Custo total observado	ATC	Custo unitário de ATC observado	Custo unitário estimado	Custo total estimado	Erro absoluto da estimativa do custo total	Erro quadrado da estimativa do custo total	Erro percentual da estimativa do custo total	
1	12.199,81	122.309,39	0,099745	0,262358	32.088,90	19.889,09	395.576.059,66	163,03%	163,03%
2	15.364,54	54.620,01	0,281299	0,262358	14.330,02	-1.034,51	1.070.219,18	-6,73%	6,73%
3	30.058,88	92.232,13	0,325905	0,262358	24.197,88	-5.861,00	34.351.315,26	-19,50%	19,50%
4	22.523,08	81.362,54	0,276824	0,262358	21.346,15	-1.176,93	1.385.163,31	-5,23%	5,23%
5	44.741,80	139.762,42	0,320128	0,262358	36.667,85	-8.073,95	65.188.634,79	-18,05%	18,05%
6	37.577,81	116.237,76	0,323284	0,262358	30.495,96	-7.081,85	50.152.645,38	-18,85%	18,85%
7	59.550,63	129.912,08	0,458392	0,262358	34.083,53	-25.467,10	648.573.043,26	-42,77%	42,77%
8	12.946,17	66.912,53	0,193479	0,262358	17.555,07	4.608,90	21.241.919,59	35,60%	35,60%
9	7.236,13	36.106,73	0,200409	0,262358	9.472,91	2.236,78	5.003.163,05	30,91%	30,91%
10	16.223,51	103.645,82	0,156528	0,262358	27.192,36	10.968,85	120.315.662,77	67,61%	67,61%
11	2.607,51	20.916,72	0,124661	0,262358	5.487,68	2.880,17	8.295.397,83	110,46%	110,46%
12	10.615,11	27.383,41	0,387648	0,262358	7.184,27	-3.430,84	11.770.669,42	-32,32%	32,32%
Média	22.637,08		0,262358			SQR=	1.362.923.893,50	Erro médio=	45,92%
variabilidade	Maior valor	59.550,63	0,458392						
	Menor valor	2.607,51	0,099745						
	Amplitude	56.943,13	0,358646						
	Amplitude / menor valor	2183,82%	359,56%						

Dados da amostra				Estimativa do custo total pela sua regressão				
Projeto	Custo total observado	ATC	Custo unitário de ATC observado	Custo total estimado	Erro absoluto da estimativa	Erro quadrado da estimativa do custo total	Erro percentual da estimativa	
1	12.199,81	122.309,39	0,099745	34.269,48	22.069,67	487.070.333,91	180,90%	180,90%
2	15.364,54	54.620,01	0,281299	14.828,09	-536,45	287.778,60	-3,49%	3,49%
3	30.058,88	92.232,13	0,325905	23.857,59	-6.201,29	38.455.997,66	-20,63%	20,63%
4	22.523,08	81.362,54	0,276824	20.128,80	-2.394,28	5.732.576,72	-10,63%	10,63%
5	44.741,80	139.762,42	0,320128	41.578,24	-3.163,56	10.008.111,87	-7,07%	7,07%
6	37.577,81	116.237,76	0,323284	32.089,99	-5.488,82	30.127.144,99	-14,61%	14,61%
7	59.550,63	129.912,08	0,458392	49.264,81	-10.285,82	105.798.093,07	-17,27%	17,27%
8	12.946,17	66.912,53	0,193479	11.678,30	-1.267,87	1.607.494,34	-9,79%	9,79%
9	7.236,13	36.106,73	0,200409	6.304,91	-931,22	867.170,69	-12,87%	12,87%
10	16.223,51	103.645,82	0,156528	12.334,08	-3.889,43	15.127.665,72	-23,97%	23,97%
11	2.607,51	20.916,72	0,124662	3.973,13	1.365,62	1.864.917,98	52,37%	52,37%
12	10.615,11	27.383,41	0,387647	9.235,35	-1.379,76	1.903.737,66	-13,00%	13,00%
Média	22.637,08		0,262359		SQR=	698.851.023,21		Erro médio=
variabilidade					% de redução da incerteza ATC=	48,72%	incerteza final=	51,28%
Maior valor	59.550,63		0,458392					
Menor valor	2.607,51		0,099745					
Amplitude	56.943,12		0,358647					
Amplitude / menor valor	2183,81%		359,56%					

Conforme apresentado na Tab. 8, ao retirar o projeto 01 da amostra, considerando-o um outlier, o modelo da média mantém o projeto 11 com desvio muito elevado. Em uma análise simples realizada pela equipe de engenharia a tendência seria a de considerar o empreendimento 11 também um outlier e excluí-lo da amostra. A modelagem CUG mostrou no entanto que não tratava-se de um real outlier e que retirá-lo da amostra de empreendimentos de referência seria negar essa experiência que é parte legítima do histórico da empresa e não deve ser negligenciada embora pouco frequente.

Tabela 8: Resultado da modelagem dos custos parciais do centro de custo “fundações” – 11 dados

Dados da amostra				Estimativa do custo total pela média do custo unitário					
Projeto	Custo total observado	ATC	Custo unitário de ATC observado	Custo unitário estimado	Custo total estimado	Erro absoluto da estimativa do custo total	Erro quadrado da estimativa do custo total	Erro percentual da estimativa do custo total	
2	15.364,54	54.620,01	0,281299	0,277141	15.137,47	-227,07	51.559,19	-1,48%	1,48%
3	30.058,88	92.232,13	0,325905	0,277141	25.561,35	-4.497,53	20.227.795,24	-14,96%	14,96%
4	22.523,08	81.362,54	0,276824	0,277141	22.548,93	25,85	668,36	0,11%	0,11%
5	44.741,80	139.762,42	0,320128	0,277141	38.733,96	-6.007,84	36.094.145,64	-13,43%	13,43%
6	37.577,81	116.237,76	0,323284	0,277141	32.214,30	-5.363,51	28.767.246,87	-14,27%	14,27%
7	59.550,63	129.912,08	0,458392	0,277141	36.004,02	-23.546,61	554.442.713,66	-39,54%	39,54%
8	12.946,17	66.912,53	0,193479	0,277141	18.544,24	5.598,06	31.338.314,85	43,24%	43,24%
9	7.236,13	36.106,73	0,200409	0,277141	10.006,67	2.770,54	7.675.896,65	38,29%	38,29%
10	16.223,51	103.645,82	0,156528	0,277141	28.724,55	12.501,05	156.276.140,92	77,06%	77,06%
11	2.607,51	20.916,72	0,124661	0,277141	5.796,89	3.189,39	10.172.177,04	122,32%	122,32%
12	10.615,11	27.383,41	0,387648	0,277141	7.589,08	-3.026,03	9.156.869,84	-28,51%	28,51%
Média	23.585,93		0,277141			SQR=	854.203.528,25		Erro médio=
variabilidade									35,75%
Maior valor	59.550,63		0,458392						
Menor valor	2.607,51		0,124661						
Amplitude	56.943,13		0,333731						
Amplitude / menor valor	2183,82%		267,71%						

Dados da amostra				Estimativa do custo total pela sua regressão					
Projeto	Custo total observado	ATC	Custo unitário de ATC observado	Custo total estimado	Erro absoluto da estimativa	Erro quadrado da estimativa do custo total	Erro percentual da estimativa		
2	15.364,54	54.620,01	0,281299	18.307,60	2.943,06	8.661.602,16	19,15%	19,15%	
3	30.058,88	92.232,13	0,325905	30.413,54	354,66	125.783,72	1,18%	1,18%	
4	22.523,08	81.362,54	0,276824	26.075,05	3.551,97	12.616.490,88	15,77%	15,77%	
5	44.741,80	139.762,42	0,320128	43.307,04	-1.434,76	2.058.536,26	-3,21%	3,21%	
6	37.577,81	116.237,76	0,323284	37.581,48	3,67	13,47	0,01%	0,01%	
7	59.550,63	129.912,08	0,458392	52.451,50	-7.099,13	50.397.646,76	-11,92%	11,92%	
8	12.946,17	66.912,53	0,193479	15.211,89	2.265,72	5.133.487,12	17,50%	17,50%	
9	7.236,13	36.106,73	0,200409	6.696,19	-539,94	291.535,20	-7,46%	7,46%	
10	16.223,51	103.645,82	0,156528	14.855,18	-1.368,33	1.872.326,99	-8,43%	8,43%	
11	2.607,51	20.916,72	0,124662	2.863,38	255,87	65.469,46	9,81%	9,81%	
12	10.615,11	27.383,41	0,387647	8.166,60	-2.448,51	5.995.201,22	-23,07%	23,07%	
Média	23.585,92		0,277142			SQR=	87.218.093,24		Erro médio=
variabilidade									10,68%
Maior valor	59.550,63		0,458392		% de redução da incerteza ATC=	89,79%	incerteza final=		10,21%
Menor valor	2.607,51		0,124662						
Amplitude	56.943,12		0,333730						
Amplitude / menor valor	2183,81%		267,71%						

Em uma devolutiva para a empresa construtora, foi apontado que o projeto 01 foi considerado um outlier e que deveria ser buscada explicação para isso. Diante disso, a equipe de engenharia relatou que a provável causa seria o fato de que os serviços relativos à fundação dos projetos 01 a 07 foram contratados juntos, objetivando a economia de escala. E que os custos foram apropriados nos projetos a partir de um rateio e que, provavelmente, o rateio não distribuiu o custo de forma adequada. A partir daí observou-se que o projeto 07, que apresentava custo médio



de ATC acima da média, apresentava a maior probabilidade de ter absorvido parte dos custos referentes ao projeto 01.

A equipe envolvida na modelagem CUG desconhecia o fato da contratação em bloco dos serviços de fundação e mesmo assim conseguiu, por meio do tratamento estatístico, identificar outlier. A capacidade de identificar outliers estatisticamente resolve a questão da baixa confiabilidade na apropriação dos custos nos referentes centros de custo e até mesmo nos diferentes empreendimentos. A modelagem CUG contém portanto uma espécie de auditoria que não se limita a apontar problemas de apropriação, descartando o histórico, mas propõem-se a resolvê-los com o saneamento criterioso da amostra, entregando modelos capazes de gerar estimativas de forma eficiente e imparcial, transformando os dados históricos da empresa construtora em inteligência para o estudo de viabilidade de empreendimentos futuros seguros.

## 7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14653-4: *Avaliação de bens - Parte 4: Empreendimentos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12721: *Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios*: Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14653-2: *Avaliação de bens - Parte 2: Imóveis urbanos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

LIMA, F. *Custo Unitário Geométrico*: Uma proposta de método de estimativa de custos na fase preliminar do projeto de edificações. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.; AMARAL, D. et al. *Gestão de desenvolvimento de produtos: Uma Referência para a Melhoria do Processo*. São Paulo: Saraiva, 2006.