

RODRIGO SOARES DE MENEZES

REDES NEURAIS ARTIFICIAIS APLICADAS A ESTIMATIVA DE CUSTO EM OBRAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA - CE

RODRIGO SOARES DE MENEZES

REDES NEURAIS ARTIFICIAIS APLICADAS A ESTIMATIVA DE CUSTO EM OBRAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA - CE

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Christus, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. M.Sc. Nelson de Oliveira Quesado Filho

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação Centro Universitário Christus - Unichristus Gerada automaticamente pelo Sistema de Elaboração de Ficha Catalográfica do Centro Universitário Christus - Unichristus, com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M541r Menezes, Rodrigo Soares de.

Redes neurais artificiais aplicadas a estimativa de custo em obras na região metropolitana de Fortaleza - CE / Rodrigo Soares de Menezes. - 2021.

75 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário Christus - Unichristus, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Me. Nelson de Oliveira Quesado Filho.

1. Rede neural artificial. 2. Estimativa preliminar de custos. 3. Mercado imobiliário. I. Título.

CDD 624

RODRIGO SOARES DE MENEZES

REDES NEURAIS ARTIFICIAIS APLICADAS A ESTIMATIVA DE CUSTO EM OBRAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA - CE

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Christus, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. M.Sc. Nelson de Oliveira Quesado Filho

Aprovada em//	_
---------------	---

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Nelson de Oliveira Quesado Filho. Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Prof. Dr. Cesar Bündchen Záccaro de Oliveira. Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Prof. Ma. Virna Fernandes Távora Rocha.

Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

FORTALEZA – CE

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por mais uma vitória conquistada em minha vida. A meus pais (Ana Lúcia e José Edvandro) e minha irmã (Ana Clara), agradeço pela oportunidade e por todo apoio incondicional principalmente por parte da minha mãe e da minha irmã durante a minha jornada na graduação e na vida.

Agradeço a meu orientador e professor Me. Nelson de Oliveira Quesado Filho por toda paciência, apoio, confiança, correções e ensinamentos durante esse trabalho

Agradeço aos professores Ma. Virna Fernandes Távora Rocha e Dr. Cesar Bündchen Záccaro de Oliveira pela participação na banca e por toda as orientações passadas.

Agradeço a todos que contribuíram para realização da pesquisa por meio de informações que ajudaram a execução do trabalho.

Ao Centro Universitário Unichristus, seu corpo docente, direção e administração do curso de engenharia civil.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

Hodiernamente, quanto ao mercado nacional brasileiro relacionado aos investimentos imobiliários, verifica-se um estimulo de ascensão imobiliária na Região Metropolitana de Fortaleza e na economia local. Baseado nesse contexto, o setor da construção civil cearense possui falhas quando relacionadas às estimativas preliminares de custos, pela hipótese do erro em análises de viabilidades de projetos nas fases iniciais, resultando em erro preliminar de estimativa de custos. O objetivo do presente estudo consiste em aplicar uma rede neural artificial pré-programada a estimativa de custos e obras na região metropolitana de Fortaleza. Utilizando como base de metodologias e fontes de coleta de informações entrevista e sondagens de opiniões em construtoras e grupo de discursões, sendo aplicada em uma rede neural artificial. Diante ao exposto, a RNA procurou o melhor algoritmo adequado para o estudo, verificando encontrar a melhor forma de comportamento, identificando que a 8ª tentativa resultou em um modelo mais eficiente em comparação aos outros modelo testados, evidenciando que o algoritmo mais adequado para o estudo foi do tipo ondulado. Com os resultados satisfatório do treinamento partiu-se para a validação onde foram testadas 25% da amostra total, resultando em 3 obras, onde aplicando o raciocínio positivo da análise do treinamento, verificou-se que a RNA evidenciou que a média dos erros é menor que os erros resultantes da aplicação dos modelos de estimativas atuais e tradicionais adotadas a RNA demonstrou uma estimativa de erro de 14,46%, obtendo um resultado satisfatório da utilização da RNA, sendo possível atingir os objetivos esperados. Portanto, foi concluído que o modelo de RNA aplicado apresentou um potencial de funcionamento eficiente, tornando-se uma ferramenta inovadora, que pode revolucionar a forma como calcula-se estimativas preliminares de custos. buscando determinar as soluções consideradas adequadas com sugestões de evolução do modelo desenvolvido.

Palavras-chave: Rede neural artificial. Estimativa preliminar de custos. Mercado imobiliário.

ABSTRACT

Today, the Brazilian national market related to real estate investments, there is a stimulus of real estate growth in the Metropolitan Region of Fortaleza and in the local economy. Based on this context, the civil construction sector in Ceará has flaws when related to preliminary costs related, due to the hypothesis of an error in the analysis of project viability in the initial phases, which ended in a preliminary error in cost estimation. The objective of the present study is to develop an artificial neural network applied to the estimation of costs and works in the metropolitan region of Fortaleza. Using as a basis for methodologies and sources of information collection, interviews and opinion polls in construction companies and a group of speeches, being applied in an artificial neural network. In view of the above, RNA sought the best suitable algorithm for the study, checking to find the best form of behavior, identifying that the 8th attempt resulted in a more efficient model compared to the other tested models, showing that the most suitable algorithm for the study it was the wavy type. With the satisfactory results of the training, validation was started, where 25% of the total sample was tested, resulting in 3 works, where applying the positive reasoning of the training analysis, it was found that the RNA showed that the average of the errors is lower that the errors resulting from the application of the models of current and traditional estimates adopted to RNA demonstrated an error estimate of 14.46%, obtaining a satisfactory result of the utilization of RNA, being possible to reach the expected objectives. Therefore, it was concluded that the RNA model applied presented a potential for efficient functioning, becoming an innovative tool, which can revolutionize the way preliminary cost estimates are calculated. seeking to determine the solutions considered adequate with suggestions for the evolution of the developed model.

Key words: Artificial neural network. Prelimiray cost estimate. Real estate market.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AACE Association for the Advancement of Cost Engineerring;

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas;

CBIC Câmara Brasileira da Indústria da Construção;

IBEC Instituto Brasileiro de Engenharia de Custos;

IBM International Business Machines Corporation

IBRAOP Instituto Brasileiro de Auditória de Obras Públicas;

ICEC International Cost Engineering Council;

ILL Índice de Lucratividade Líquido;

LD Lógica Difusa;

PB Payback;

PMBOK Project Management Body of Knowledg;

RBC Raciocínio Baseado em Casos;

RNA Rede Neural Artificial;

TIR Taxa Interna de Retorno;

VPL Valor Presente Líquido;

LISTA DE SÍMBOLOS

Σ Somatório;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Capacidade de influenciar o custo final de um empreendimento de edifícios a	10
longo de suas fases.	19
Figura 2 - Relacionamento entre custo e possibilidade de influência no processo de proj	jeto. 24
Figura 3 - Métodos para estimativas de custos.	26
Figura 4 - Processo do modelo de estimativa de custo de raciocínio baseado em casos (l	RBC).
	30
Figura 5 - Modelo de um sistema difuso.	33
Figura 6 - Cálculo do custo global de construção.	36
Figura 7 - Estrutura básica de uma rede neural artificial.	41
Figura 8 - Fluxograma da metodologia do trabalho.	47
Figura 9 - Interface da plataforma IBM Watson Studio.	52
Figura 10 - Fluxograma de desenvolvimento da RNA.	53
Figura 11 - Configuração inicial da RNA.	53
Figura 12 - Configuração das variáveis de entrada.	54
Figura 13 - Fluxograma de desenvolvimento da RNA Concluído.	54
Figura 14 - Escolha do modelo de RNA.	55
Gráfico 1 - Coeficiente de dispersão e correlação.	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Áreas de aplicação da lógica difusa em engenharia civil	34
Quadro 2 - Indicadores de custos baseados em metodologias de estimativas – Parte 1	37
Quadro 3 - Indicadores de custos baseados em metodologias de estimativas – Parte 2	38
Quadro 4 - Contexto cronológico histórico das RNAs – Parte 1	39
Quadro 5 - Contexto cronológico histórico das RNAs – Parte 2.	40
Quadro 6 - Aplicação de RNAs para estimativa de custos na engenharia	42
Quadro 7 - Quantidade de variáveis.	43
Quadro 8 - Direcionadores de custos escolhidos.	50
Quadro 9 - Diferenças relativas e absolutas.	56
Quadro 10 - Estimativa de erro da RNA.	58
Quadro 11 - Taxa Administrativa do construtor e Índice de Aproveitamento	59
Quadro 12 - Análise de variáveis na fase de treinamento - Parte 1	60
Quadro 13 – Análise de variáveis na fase de treinamento – Parte 2.	60
Quadro 14 - Análise de variáveis na fase de validação	60

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO13		
1.1.	Objetivos		
1.1.	. Objetivo Geral17		
1.1.	Objetivos Específicos17		
1.2.	Estrutura do Trabalho17		
2.	REVISÃO DE LITERATURA18		
2.1.	Análise de Viabilidade18		
2.2.	Estimativa de Custo.		
2.3.	Métodos Tradicionais de Estimativa de Custos		
2.3.	Principais Características de uma Edificação37		
2.4.	Redes Neurais Artificiais38		
2.5.	Levantamento de dados43		
3.	METODOLOGIA44		
3.1.	Delineamento da Pesquisa44		
3.2.	Classificação44		
3.3.	Método abordado46		
3.4.	Instrumento de Pesquisa48		
3.5.	Ambiente de Pesquisa49		
3.6.	Variáveis utilizadas49		
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES52		
4.1.	Levantamento52		
4.2.	Processamento		
4.3.	Análise56		
5.	CONCLUSÃO62		
RE	ERÊNCIAS64		
APÎ	NDICE A – Roteiro para levantamento de indicadores para estimativa prelimina		
de c	ustos		
APÍ	NDICE B – Roteiro para levantamento de informações de orçamentos de obras em		
Fortologo co			

1. INTRODUÇÃO

A comercialização de imóveis tem uma forte influência na economia de um País, tornando-se fundamental para o seu desenvolvimento. Sob o ponto de vista de Bertoncello *et al.* (2019a, p. 36), o mercado imobiliário pode impactar negativamente ou positivamente os níveis micro e macroeconômicos, proporcionados por um *loop* econômico de difícil identificação da causa e do efeito, baseado em oscilações de parâmetros que podem influenciar na economia.

Diante desse cenário, na concepção da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2020a), a relação entre o 4° trimestre de 2018 e o de 2019, o mercado imobiliário brasileiro demonstrou consecutivamente um aumento de 8,4% e 9,7% em lançamentos e vendas de imóveis. Em comparação ao 3° trimestre do ano de 2018, no ano de 2019, esses indicadores imobiliários resultaram subsecutivamente em um acréscimo de 28,3% e 13,9%. Com base nesses indicadores, percebe-se um estímulo no desenvolvimento do mercado nacional, contribuindo para a potencialização dos investimentos e do poder de aquisição imobiliário nos mercados locais.

No entanto, para estimar vantagens nos mercados imobiliários locais, é de suma importância analisar a movimentação entre os preços imobiliários e o dinamismo econômico, sendo que essas variáveis analisadas servem como ferramentas para os mercados imobiliários locais precederem ações econômicas, obtendo agilidade em estudo de mercado. Bertoncello *et al.* (2019b, p. 43-44), afirma que "existe um *loop* econômico ou uma retroalimentação entre o preço imobiliários e a atividade econômica. Analisar esse modelo favorece a antecipação de atores econômicos que poderão elevar seus ganhos aproveitando o *delay* de mercados locais."

A respeito da perspectiva do contexto elencado, no 4º trimestre de 2019, o mercado imobiliário da Região Metropolitana de Fortaleza, apresentou uma queda nos lançamentos e nas vendas de imóveis de 12,5% e 24,5% sucessivamente (CBIC, 2020b). Todavia, baseando-se em estimativas de mercado imobiliário, o panorama da Região Metropolitana de Fortaleza possui estimativas de ascensão na economia no ano de 2020, baseado na redução nas taxas de juros do mercado. Como afirmam Cabral (2020) e Varela (2020), a construção civil no Ceará em 2020 irá vivenciar um sentido de recuperação. A consolidação da economia com a atenuação dos juros e a inflação controlada, poderá contribuir para novos lançamentos imobiliários. [...] no caminho do crescimento, entre 2% e 3% em relação ao ano de 2019. Contudo, apesar de toda a expectativa de crescimento apresentada, o mundo foi impactado pela pandemia do COVID-19, levando redução desse

crescimento. Devido ao impacto da pandemia no mercado imobiliário, no 2° trimestre de 2020 houve queda nas vendas e nos lançamentos de imóveis, sendo de 67,5% em vendas em grande parte do Brasil e 72,5% em lançamentos (CBIC, 2020c).

Por outo lado, em sinergia com o crescimento e recuperação do mercado imobiliário cearense, a análise de viabilidade se faz necessária, pois existem erros e problemas de viabilidade que interrompem o prosseguimento de um projeto. Nas palavras de Silva (2016), a análise de viabilidade econômica e financeira é o conjunto de atividades desenvolvidas pela engenharia econômica, identificando quais são os custos e benefícios esperados em um dado investimento, a fim de verificar a sua viabilidade de aplicação.

Em consoante com os investimentos em imóveis, estão os riscos, características intrínsecas, que estão diretamente ligados à falta de um estudo preliminar, possuindo o poder de decidir se o investimento terá retorno financeiro ou não. Para Oliveira (2018), o detalhamento da análise da viabilidade econômica e financeira do empreendimento imobiliário visado, é fundamental, pois como qualquer investimento financeiro, está sujeito a riscos e incertezas, podendo gerar um aumento do retorno ou apenas a sobrevivência de uma empresa.

Inicialmente, a viabilidade parte de um conceito de estimativa de custos, onde essa estima embasa-se em informações preliminares de projetos, para posteriormente se tornar uma decisão positiva ou negativa referente ao seguimento do projeto, fundamentado ao tipo de análise realizado. Segundo Barros (2019a, p. 3), "a estimativa conceitual deve ser preparada a partir de uma quantidade mínima de informações, havendo poucos ou nenhum detalhe nesta fase e a decisão de viabilidade é muito importante, onde a previsão dos custos é crucial para as decisões seguintes."

Quando relacionada a custos, a análise de viabilidade se mostra essencial para o planejamento do projeto, pois é ela quem irá decidir e demonstrar as conveniências de um projeto bem pensado preliminarmente, resultando em seções bem estruturadas. Em concordância com Biolo (2002), a análise de viabilidade apresenta uma parcela considerável no custo total de um empreendimento. Todavia, eles são fundamentalmente importantes, tanto para selecionar oportunidades de investimentos, como para escapar de investimentos de risco.

Neste contexto, de previsibilidade e análise de viabilidade imobiliária, surge o interesse em estimativas de custos, que objetiva verificar o valor financeiro de um projeto, apoiado em informações técnicas. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2017), como contempla o projeto de norma NBR 16633 – 1, e o *Project Management Institute* (PMBOK, 2017), a estimativa de viabilidade é uma expectativa do valor monetário

para a inserção de um determinado projeto ou empreendimento, considerando ferramentas técnicas, elaborado sob a perspectiva do proprietário, a partir de informações técnicas preliminares.

Diante disso, o desenvolvimento das informações parte do pressuposto que a análise de risco de erros está intrinsecamente inserida com o tipo de qualificação da informação. Como esclarece Limmer (2015a, p. 89), "toda estimativa orçamentária é, por conseguinte, afetada de erro, que será menor quanto melhor for a qualidade da informação disponível por ocasião da sua elaboração."

Para tanto a previsão de custos é uma ramificação da engenharia de custos, que busca reduzir as inexatidões nas estapas inciais de um investimento ou projeto. Em se tratando de aferição de custos, a margem de erro muito é elevada, ratificando analogamente a literatura uma relação de erro de 20% a 40% nos momentos preliminares de planejamentos. Para Juszczyk (2015a, p. 3), a estimativa de erros de custos no estágio preliminar do projeto é de ± 25% a 35%. O Instituto Brasileiro de Auditoria de Obras Públicas (IBRAOP, 2012a) define uma margem de erro de ±30% para estimativa de custos para projetos de estudos preliminares.

Segundo o *International Cost Engineering Council* (ICEC 2004, *apud* DIAS, 2015, p. 12), a margem de erro de estimativa pode ser considerada entre 25% a 30%. Impróprio para contratação de serviços de engenharia. Para Avila, Librelotto e Lopes (2003a, p. 5), as avaliações preliminares possuem uma margem de erro de ±30% a ±20%. Já conforme Limmer (2015b, p. 89), o erro de estimativa chega a 40%.

Diante esse panorama exposto, relacionado a erros e problemas de previsão de custos e viabilidade, surgem as Redes Neurais Artificias (RNAs), que são tecnologias fundamentadas em áreas distintas de conhecimento, com base em algoritmos computacionais, possibilitando a apredizagem e adaptção a problemas, tomando decisões mais eficazes. Para alguns autores (FLECK, TAVARES, *et al.*, 2016a; SPÖRL, LUCHIARI e CASTRO, 2011), as RNAs são uma tecnologia baseada em algoritmos computacionais, embasadas em multidisciplinas, conferindo a inserção da atividade do cérebro humano em computadores, gerando um modelo não-linear, tornando a sua aplicação eficiente e tomando decisão baseada no seu apreendizado.

Desse modo, hodiernamente, os problemas de previsão e viabilidade citados anteriormente necessitam de conclusões mais precisas, sendo que as RNAs possuem ferramentas que previnem e reconhecem padrões antecedentes, diagnosticando e solucionando erros de estimativa de custos e viabilidade. Dessa forma as RNAs mostram-se uma alternativa efetiva para esses problemas. Nas palavras de Barros (2019b, p. 5), "rede neural

artificial é tida como uma eficiente ferramenta de previsão que reconhece padrões passados e as conexões de fatores que influenciam no custo. Dessa forma, é possível prever o futuro através das tendências encontradas."

Com toda essa importância, as redes neurais aplicadas a estimativa de custos na construção, tornam-se relevantes pela hipotése de que na região metropolitana de Fortaleza foram realizados muitos negócios imobiliários no ano de 2019. De acordo com estudo da Lopes Inteligência de Mercado (2019, *apud* DANTAS, 2020) e Pimentel (2020), em Fortaleza, foram negociadas, em 2019, entre 5.000 e 6.000 unidades de imóveis, representando uma oportunidade para implementação da estimativa de custo nos negócios imobiliários.

Além disso, esse cenário é justificável pela circunstância de que empresas de construção civil apresentam problemas relacionados a insolvência, tendo como consequência a falta de implementação de estimativas de custos em fase preliminar, sendo que a não realização dessa atividade pode ocasionar problemas de saúde financeira graves para as empresas. Segundo Taves (2014a, p. 46), "a desvantagem com a não aplicação da engenharia de custos nas obras de construção civil, acabam tendo prejuízos em suas operações e até mesmo podem chegar a falir dependendo da gravidade do erro de orçamento." Desse modo, na afirmação de Teresinho (2014, p. 47), a insolvência de empresas de construção estão relacionadas a não realização de orçamentos para tipos de projetos contemplados, ocasionando consequências catastróficas na saúde financeira da empresa e, em casos mais graves, a própria falência. Para Peres (2020) e Louzada (2018), a realização do serviço de orçamentação é de extremo valor, representando um fator preponderante e decisivo, seja para estimulação do crescimento da saúde financeira ou a falência de uma empresa.

Todavia, partindo do panorama exposto anteriormente, relacionado a erros de estimativas de custos em fases preliminares, e no crescimento do mercado imobiliário na Região Metropolitana de Fortaleza — CE, surgiu a problemática quando relacionada a apresentação do imóvel (terreno ou lote) a clientes tecnicamente leigos, sem noção técnica da área de custos. Surge no momento da apresentação a interrogativa sobre quanto irá custar para se construir, seja qual for o objetivo do cliente referente ao imóvel (terreno ou lote), decidindo se será viável a negociação ou compra desde imóvel (terreno ou lote). Sendo que, inicialmente, no momento, não haverá projetos ou outras fontes de informações que auxiliem na decisão, haverá apenas o desejo do cliente, que é baseado em critérios imprecisos, como área estimada construída e quantidade de pavimentos.

Com isso, busca-se realizar uma estimativa de custo mais precisa para contornar essa realidade atual e diante a problemática o questionamento levantado é: pode-se dirimir a margem de erros de estimativas de custos de obras de construção civil, baseando-se na elevada capacidade de processamento de informações das RNAs (Redes Neurais Artificias)?

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Aplicação de uma rede neural artificial pré-programada aplicada à estimativa de custos de obras na região metropolitana de Fortaleza, capaz de uma melhor previsibilidade da estimativa de custos na construção em comparação aos métodos tradicionais na Região Metropolitana de Fortaleza.

1.1.2. Objetivos Específicos

- ✓ Identificar os Indicadores de entradas mais relevantes para a composição do custo dos projetos de obras.
- ✓ Aplicar uma rede neural artificial previamente já concebida para previsão da estimativa de custo.
- ✓ Treinar a rede neural artificial previamente concebida, utilizando dados previamente conhecidos.
 - ✓ Testar, aferir e validar a capacidade de aprendizagem e a eficácia da RNA.

1.2. Estrutura do Trabalho

Na seção 1 se apresenta uma introdução ao tema da Monografia. Em seguida é justificada a relevância das redes neurais aplicadas a estimativa de custos na construção em fases preliminares, e é apresentada a questão de pesquisa. Ainda neste capítulo, estão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa. A seção 2 se destina à revisão de literatura, onde estão apresentados os conceitos, características e aplicações relacionadas à estimativa preliminar de custos, sendo elas: análise de viabilidade, estimativa de custo, métodos tradicionais de estimativas de custo, principais características de uma edificação, redes neurais artificias e levantamento de variáveis. Na seção 3 é apresentada a metodologia, onde a princípio é realizada a classificação da pesquisa, subsequentemente é demonstrado o passo a passo e posteriormente é determinado o instrumento e o ambiente de pesquisa. Na seção 4 é apresentado os resultados e discussões, onde foi obtido as respostas do treinamento e validação do modelo baseado em análises matemáticas e computacionais. Na seção 5 foi destinado ao desfecho e conclusão do trabalho, onde demonstrou de forma sucinta o alcance do estudo e as sugestões para prosseguimento de estudos futuros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção trata sobre a definição de conceitos referente à análise de viabilidade, estimativa de custo, métodos tradicionais de estimativa de custo, principais características que influenciam o custo da obra e redes neurais artificiais. Na continuidade são demonstrados outros trabalhos referentes à RNAs e custos.

2.1. Análise de Viabilidade.

A construção civil é relevante para o desenvolvimento do País, movimentando a economia do setor por meio de incentivos relacionados aos empregos diretos e indiretos, ou por meio da contribuição no aquecimento do mercado econômico brasileiro.

A construção tem sido uma das atividades de grande potência para a garantia do setor econômico no País, porque além de oferecer emprego, as indústrias do setor vêm expandindo, e, assim, os investimentos são direcionados para garantir o crescimento econômico com os devidos ajustes para a integração da regionalização do espaço em que as atividades são inseridas. (OLIVEIRA e OLIVEIRA, 2012, p. 9)

No entendimento de Taves (2014b), na conjuntura atual da economia brasileira, a utilização da engenharia de custos pelas construtoras é de vital importância para a análise correta da viabilidade de um empreendimento, corroborando para o desenvolvimento do setor da construção civil.

Desse modo, na etapa inicial, a análise de viabilidade na construção civil é praticada baseando-se em critérios e indicadores matemáticos, que auxiliam na tomada de decisões na fase de concepção de um projeto, comumente concebida mediante um esquema de inserção, ajudando para determinar os pontos imprescindíveis a serem abordados no decorrer do projeto. Como explana Strohhecker (2010), um empreendimento na fase de concepção, a implantação do empreendimento, seguindo-se com um estudo de viabilidade técnica e econômica, definido, geralmente com um plano preliminar de implantação, resulta em uma redução em problemas futuros de planjemento no projeto.

Porém, no contexto prático, quando se trata de análise de viabilidade na construção civil, a mesma é desempenhada por empresas de construções que, em geral, utilizam-se de hipóteses básicas, mas fundamentais para o dimensionamento e planejamento de um projeto. No estudo de viabilidade propriamente dito, as etapas básicas essenciais são: estudo de mercado, localização, tamanho, engenharia, investimentos / financiamento, análise dos custos e receitas projetadas no fluxo de caixa, análise da rentabilidade (avaliação do mérito do projeto), como define (FILHO e PIZZOLATO, 2011).

Nesse caso, a análise de viabilidade quando comparado aos custos de um empreendimento, torna-se relevante pelo fato dos custos nos estágios iniciais serem elevados, principalmente na parte de análise de viabilidade, porém, torna-se um ponto a ser planejado, evitando problemas financeiros no decorrer da sua execução. Segundo o *Construction Industry Institute* (CII, 1987), as decisões tomadas nas fases iniciais do empreendimento, principalmente na fase de concepção e projeto, são as que têm maior capacidade de influenciar o custo final, como demonstra a Figura 1.

SO CONTRATAÇÃO

EXECUÇÃO

Figura 1 - Capacidade de influenciar o custo final de um empreendimento de edifícios ao longo de suas fases.

Fonte: CII (1987).

INÍCIO

No que se refere à análise de viabilidade, conceitua-se como uma forma de caracterização preliminar de um panorama, seja ele de uma empresa, de um projeto ou de negócios, baseando-se em informações que definem o desenvolvimento desse cenário, determinando se a efetivação é viável ou não. Conforme afirma Nunes (2015), a análise de viabilidade consiste num estudo técnico financeiro que procura determinar as possibilidades de sucesso econômico e financeiro de um determinado projeto, a entrada num novo mercado ou um projeto de reestruturação organizacional.

Para Zago, Weise e Hornburg (2009, p. 2), "a análise de viabilidade econômica e financeira busca identificar quais são os benefícios esperados em dado investimento, a fim de verificar a sua viabilidade de implantação." Com isso, a análise de viabilidade é um conceito onde parte de premissas simples e básicas, para situações com decisões complexas.

Em concordância com o conceito de análise de viabilidade, torna-se relevante aprimorar e aperfeiçoar os critérios e propósitos de definição, seja para um planejamento ou

para um projeto. Todavia, deve-se tratar esse assunto em fase inicial, sempre como foco de estudo. Sob o ponto de vista de Lucente (2016), para a análise de viabilidade econômico-financeira de um investimento, é necessário fazer desde as mais básicas análises de fluxo de caixa, incluindo conceitos como matemática financeira e até utilizando-se de ferramentas de apoio a decisões complexas.

Portanto, a demonstração dos resultados e a forma como são apresentadas as informações partem do pressuposto que, considerando premissas de estudo de viabilidade estática e dinâmica, são obtidos os critérios e indicadores econômicos para realizar a análise. Corroborando com pensamento de Gomes (2013), para análise de viabilidade, é determinante considerar ferramentas para realizar um estudo de viabilidade estático e dinâmico baseado principalmente nos critérios de engenharia econômica e matemática financeira.

Segundo a NBR 14653-4 (ABNT, 2002, p. 11), "o resultado final das análises de viabilidade econômica pode ser expresso sob a forma de taxas internas de retorno, [...] retorno sobre investimentos, valor econômico adicionado, valor de mercado adicionado e o retorno sobre o patrimônio líquido." Ainda assim, como resultado da análise de viabilidade, o canal para realizar o elo entre a forma de se apresentarem, e a maneira de análise, é por meio de indicadores.

Como se pode observar, o estudo da análise de viabilidade mostra-se fundamental para entender a localização onde o panorama atual estará inserido, realizando um balanço entre os pontos benéficos e os custos empreendidos, sendo que, para um projeto ou empreendimento, esse balanço é essencial, pois é ele quem decidirá o andamento inicial, sendo essa orientação economicamente ou financeiramente relacionada ao planejamento executado para o caso. Na concepção de Arnaud e Figueiredo (2019, p. 3), "o projeto é considerado economicamente viável quando os benefícios gerados pela sua implantação superam os respectivos custos, bem como superam benefícios gerados por investimentos alternativos."

Da mesma maneira, a análise de viabilidade é determinada por meio da engenharia econômica, que por sua vez, é demonstrada por meio de equações matemáticas, que determinam indicadores e parâmetros de verificação, onde alguns desses pontos, como valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), *payback* (PB) e índice de lucratividade líquido (ILL), são evidenciados para realizar essa análise. Hosni, Cavaignac e Macedo (2019a) abordam que, para análise de viabilidade de um projeto, utiliza-se dos indicadores de engenharia econômica, como valor presente líquido (VPL), taxa interna de

retorno (TIR), *payback* (PB) e índice de lucratividade líquido (ILL), como parâmetro de estudo para evidenciar a decisão dos investimentos dos projetos e empreendimento.

O valor presente líquido é o método que calcula o valor presente dos termos do fluxo de caixa para somá-los ao investimento inicial de cada projeto ou planejamento. Para Ribeiro *et al.* (2011), a viabilidade de um projeto é analisada pelo valor presente líquido, onde representa a diferença positiva entre receitas e custos, atualizado de acordo com determinada taxa de desconto, como segue na equação 1.

$$VPL = \sum_{t=1}^{n} \frac{ECt}{(1+i)^t} - SC_t$$
 (1)

Sendo que:

ECt = Representa a entrada de caixa;

SCt = Representa a saída de caixa;

n = Quantidade total de períodos na linha de tempo do fluxo de caixa;

i = Taxa de juros a ser utilizada para descontar o fluxo de caixa;

t = Quantidade total de períodos na linha de tempo do fluxo de caixa;

Segundo afirma Christmann (2009a), a taxa interna de retorno (TIR) é a taxa de desconto que leva o valor presente líquido de uma oportunidade de investimento a igualar-se a zero. Com isso o valor presente das entradas líquidas de caixa deve-se igualar com o investimento inicial de um projeto. "A denominação de taxa interna é oriunda do fato de que o valor é calculado, exclusivamente, em função dos fluxos de caixa do projeto e independe dos juros de mercado." (ABENSUR, 2012), como é explanado na equação 2 a seguir:

$$SC_t = \sum_{T=1}^{n} \frac{EC_t}{(1+i)^t}$$
 (2)

Sendo que:

ECt = Representa a entrada de caixa;

SCt = Representa a saída de caixa;

n = Quantidade total de períodos na linha de tempo do fluxo de caixa;

i = Taxa de juros;

t = Quantidade total de períodos na linha de tempo do fluxo de caixa;

No entendimento de Hosni, Cavaignac e Macedo (2019b), o *payback* (PB) significa o tempo de retorno do capital, logo, quanto mais o valor se aproximar de zero, melhor será o valor obtido para a recuperação total do valor investido inicialmente. Como

afirma Christmann (2009b), o *payback* é definido como sendo aquele período de anos ou meses, dependendo da escala utilizada, necessários para que o dispêndio de capital correspondente ao investimento inicial seja recuperado, ou igualado pelas entradas líquidas acumuladas, indicando o tempo preciso para conseguir retornar o investimento inicial, não considerando o custo de capital aplicado. A equação 3 demonstra o cálculo do *payback*.

$$PB = \frac{\sum_{EC_t}^{SC_t}}{(1+i)^t}$$
 (3)

Sendo que:

PB = Payback;

ECt= Representa a entrada de caixa;

SCt = Representa a saída de caixa;

i = Taxa de juros;

t = Quantidade total de períodos na linha de tempo do fluxo de caixa;

O índice de lucratividade líquido – (ILL), na visão de Souza e Clemente (2004), é uma medida de custo/benefício quando se espera obter um capital investido relativo, que mede a relação entre o valor recebido e o custo do investimento. Por definição o índice de lucratividade líquido é uma medida de quanto se espera obter por capital investido em um projeto, sendo representado na equação 4. Com isso, esse índice, pelo fato de ser idêntico ao VPL, então se o VPL > 0, o ILL > 1. Se o ILL > 0, o projeto deve prosseguir para próxima fase, sabendo-se que o VPL não pode ser negativo

$$ILL = \frac{VPL}{Io}$$
 (4)

Sendo que:

ILL = Índice de Lucratividade Líquido;

VPL= Valor Presente líquido;

Io= Investimento Inicial:

Diante a essa perspectiva elencada, de indicadores para análise de viabilidade, mostra-se como esses indicadores podem definir uma decisão final para estimar o prosseguimento de um projeto, relacionando os custos em fases preliminares de projetos. Essa análise é fundamental para diagnosticar a viabilidade do mesmo, demonstrando os pontos positivos e negativos do planejamento.

Todavia, para orçamentação de preço na engenharia, torna-se possível realizando uma correlação entre a análise de viabilidade e a estimativa de custos para projetos de obras na construção civil, considerando que o setor da engenharia consegue controlar e realizar a formação de preços. No entender de Segobia e Minozzo (2019), a engenharia de custos, aplicada à construção civil, é a única disciplina capaz de dar suporte à formação do preço e controle de custos de obras.

2.2. Estimativa de Custo.

No setor da construção civil, a análise de estimativa de custos se mostra essencial, pois relacionado ao cenário de insolvência que as empresas de construção civil estão inseridas, devido à falta de planejamento na fase inicial de um empreendimento e pela hipótese de que o mercado está muito competitivo, relacionado à utilização consciente dos recursos financeiros a serem investidos em um projeto. De acordo com Borba (2020a), no setor da construção civil, uma obra consiste em atividade econômica e, portanto, seu custo é um fator crucial de análise, representando um desenvolvimento das práticas tradicionais, refletindo nos negócios.

Analogamente ao conceito de análise de viabilidade, a estimativa de custo é uma ramificação da área de análise de viabilidade, onde o foco principal da estimativa de custo é buscar um equilíbrio entre as informações iniciais (projetos que envolvem a construção) colhidas, representando de forma quantitativamente essas informações, para analisar a melhor forma para uma decisão de investimento. Na visão de Borba (2020b, p. 9), "o projeto arquitetônico e os complementares de uma construção civil contribuem na definição de custos e, por isso, os profissionais envolvidos na concepção do projeto devem colaborar para um desempenho técnico e financeiro da edificação."

Todavia, partindo do contexto elencado sobre a falta de previsibilidade de custos, relacionada à orçamentação de projetos em estágios preliminares de planejamento, a estimativa de custo pode ser conceituada como uma perspectiva de viabilidade de um valor financeiro para inserção de um empreendimento, projeto ou serviço, baseada em informações que decidiram o seu prosseguimento. Segundo explana Mattos (2006, p. 34), "estimativa de custo é avaliação com base em custos históricos e comparação com projetos similares. Dá uma ideia aproximada da ordem de grandeza do custo do empreendimento. Sendo que a tradição representa um aspecto relevante na estimativa".

Para o Instituto Brasileiro de Engenharia de Custos (IBEC, 2018), "uma estimativa de custos nada mais é do que uma avaliação prévia (normalmente chamada de avaliação expedita) feita com o objetivo de trazer uma noção sobre a ordem de grandeza de uma determinada obra que se pretende executar," demonstrando que a estimativa de custo é uma ferramenta que auxilia na tomada de decisão, resultando em uma característica muito relevante para orçamentação de projetos na construção civil, onde apresenta-se como uma lacuna a ser resolvida pela engenharia de custos.

Porém, com o panorama exposto relacionado aos problemas de falta e erro de análises iniciais, é importante ressaltar que, com a ascensão do mercado imobiliário da região metropolitana de Fortaleza, é fundamental o estudo preliminar dos custos do projeto ou do planejamento da obra, diante disso, é favorável realizar a relação dos custos com o tempo de andamento do projeto, sendo que é possível observar a influência que o estágio inicial de planejamento pode impactar nos custos do projeto, como mostra a Figura 2.

Grande influência
nos custos
influência

Custo da alteração

Planejamento e Estudo Desenvolvimento do projeto Construção concepção Preliminar

Figura 2 - Relacionamento entre custo e possibilidade de influência no processo de projeto.

Fonte: González (2008, p. 5).

Baseado nas informações representadas na Figura 2, o custo, em concordância com a influência que esse indicador realiza na concepção do projeto, é valoroso no decorrer do planejamento. Isso está em concordância com González (2008, p. 5), ao argumentar que "assim, percebe-se que maior esforço deve ser dedicado nas fases de planejamento e estudos preliminares, pois eventuais falhas dificilmente podem ser corrigidas posteriormente." Conforme defende Gonçalves (2011a), a estimativa de custos nos estágios preliminares do processo de projeto é de elevada relevância, sendo que a análise de respostas alternativas com base no custo estimado pode viabilizar a execução de empreendimentos.

A preocupação com orçamento da obra inicia-se com vários indicadores, sendo esses os principais agentes responsáveis pelos custos, a identificação desse indicadores, fazem com que se possa realizar um reconhecimento seguro, permitindo ter uma previsão futura dos imprevistos que podem vir a ocorrer. Como contempla Dias (2019), as preocupações se iniciam nas fases iniciais de uma obra, quando são predeterminadas os geradores de custos, sendo essa definições prévias uma estimativa, pois muitos são os indicadores que impactam o custo de uma obra.

Nesse intuito, a engenharia de custos evidencia uma área decidida em analisar os custos referentes a um projeto, tornado-se, portanto, o foco principal no estágio inicial do empreendimento, diante desse cenário, pela negligência de não executar o estudo preliminar de custos, surge a prerrogativa do erro na estimativa de custo em fase inicial de planejamento, onde mostra-se considerável em relação ao valor investido inicialmente, resultando em uma margem de erro no entorno de 20% à 40% (AVILA; LIBRELOTTO; LOPES, 2003b; IBRAOP, 2012b; JUSZCZYK, 2015b; LIMMER, 2015c).

Para tanto, esse erro pode ser decisivo na análise de viabilidade do projeto para empresas de construção civil. A mitigação desses erros se dá pela análise de indicadores que ajudam na interpretação de parâmetros referentes ao planejamento de projetos. Segundo Gonçalves (2011b), o acerto das análise de custos é voltado para estudos de viabilidade, pois na realidade essa análise faz com que as empresas adequem as análises em fases preliminares para decisões de projetos. Diante a isso, empresas ainda definem os custos no estágios iniciais, de forma tradicional.

Para realizar a análise dos dados referente a estimativa de custo, existem vários métodos que podem ser utilizados para estimar os custos de um projeto, que para a construção civil alguns métodos são mais utilizados como metodologia das unidades do produto final, por etapa da obra e etc. Como afirma Juszczyk, Levniak e Zima (2018), a estimativa de custos, em geral, pode ser classificada [...], baseada em métodos heurísticos e com base em julgamentos de especialistas, já a outra classificação pode ser com base em métodos estatísticos, paramétricos, não paramétricos, análogos / comparativos e analíticos.

Na visão da Association for the advancement of cost engineerring (AACE, 2016), para análise dos custo, [...]. Os modelos paramétricos, fator de capacidade, julgamento de especialistas, análogos e técnicas de modelagem, referem-se aos métodos estocásticos, e os métodos determinísticos abrangem estimativas semi-detalhadas e detalhadas.

Outros métodos são de importante relevância quando se trata de estimativas de custos na construção civil, como gráficos de controle de custos, gráficos de *Grantt* ou

diagramas de barras, até métodos mais substanciais, como uma análise probabilística e determinística. Citando Dacoregio (2017a, p. 31),

aplicar o método determinístico, ou orçamento, é necessário ter todos os projetos para os quais se deseja estimar os custos. Desta forma, é um método considerado trabalhoso e demorado, porém bastante preciso quando comparado às estimativas por correlação. A precisão dos orçamentos depende, principalmente, da qualidade e nível de detalhamento dos projetos. Este método consiste em levantar todos os quantitativos dos projetos e determinar o custo de cada um individualmente. Já os métodos probabilísticos, ou estimativas por correlações, consistem em determinar o custo de um projeto com base em parâmetros similares orçados em outros projetos.

Desse modo, conforme relata Barros (2019c), como métodos determinísticos, as principais estimativas utilizadas são: custo unitário e custo por unidade de obra. Recentemente, a previsão por classe de referência tem sido abordada como um método probabilístico, além da análise de regressão, a estimativa de custo pode ser analisada por indicadores determinísticos e probabilísticos e inteligência artificial, como mostra a Figura 3. Diante a isso, é importante elencar que atualmente as análises são realizadas baseadas na tradição das obras já executadas, onde é realizada a análise multiplicando a área do empreendimento pelo valor do m².

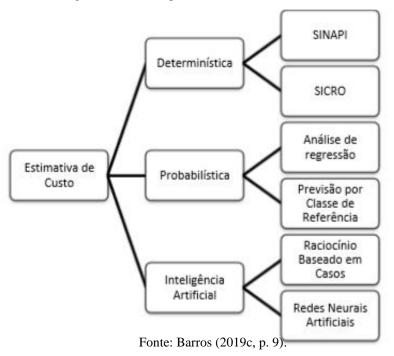


Figura 3 - Métodos para estimativas de custos.

O próprio Dacoregio (2017b, p. 33), já citado, defende que os principais métodos utilizados para a elaboração de uma estimativa preliminar de custo de obra são: a estimativa análoga, o raciocínio baseado em casos (RBC), a lógica difusa (LD) e as redes neurais

artificiais (RNAs). Corroborando com essa linha de pensamento, por existirem várias pesquisas de métodos de estimativas de custo, é importante correlacionar esses métodos para alcançar soluções eficientes. Nestes casos, as pesquisas foram classificadas conforme o método de maior precisão apresentado, concluindo que a metodologia que apresentar a melhor acurácia, será implementada nos estudos e aperfeiçoadas.

Nas palavras de Ashworth (2010, *apud* GONÇALVES, 2011c, p. 57). "a maioria dos métodos tem sua validade quando utilizados para obter ordem de grandeza dos custos iniciais, sempre que a obtenção de quantificações dos serviços envolvidos no projeto não é possível." Os métodos de estimativas preliminares de custos, sem uma devida aprovação inicialmente, apresentam uma forma de aplicação dos métodos sem acurácia, servindo apenas como uma análise de conferência de estimativas entre projetos diversificados. Todavia, sem uma gestão de planejamento os métodos não terão utilidade para aplicação.

Portando, diante desse panorama, baseado nas hipóteses e indicadores de estimativa de custo relatados anteriormente, o estudo de viabilidade relacionado ao custo nas fases iniciais de planejamento ou de um projeto, comprova que a inserção desses parâmetros no estudo faz com que se possa prevenir e realizar uma previsão do investimento financeiro no momento preliminar. Conquanto, tecnologias relacionadas ao desenvolvimento de cálculos de custos, mostram-se ainda rudimentares, necessitando de métodos mais avançados de estimativas, pra que se possa executar um estudo de viabilidade eficiente, reduzindo a margem de erros, tornando a engenharia de custos na construção civil uma área de interesse e investimentos nas fases iniciais de um projeto.

2.3. Métodos Tradicionais de Estimativa de Custos.

Atualmente, as principais metodologias aplicadas para realizar estimativas de custos na construção civil podem ser validadas por meio de métodos, técnicas e ferramentas que auxiliam na obtenção dessa estimativa, como já citado no presente trabalho, são os métodos de estimativas análogas, raciocínios baseados em casos e lógica difusa. PMI (2013a) defende que ferramentas e técnicas utilizadas no processo de estimativas de custos são realizadas por meio de estimativas análogas e ferramentas computadorizadas.

Além dos meios de estimativas elencadas acima, existem outras metodologias usualmente aplicadas no Brasil, que possuem importância no processo de estimativa preliminar de custos, são eles: métodos paramétricos e custo unitário básico (CUB). Como afirma Kato (2013a, p. 33), "os métodos de estimativas mais amplamente disseminadas na

literatura nacional são o CUB e a estimativa paramétrica. Em outros países, têm sido desenvolvidas novas ferramentas utilizando inteligência artificial, através de ferramentas computadorizadas".

• Estimativas análogas.

"Um dos métodos de realizar estimativas de custos em fases preliminares é baseando-se em dados históricos" (KIM, SEO e HYUN, 2012, p. 72, tradução do autor). Baseado nessa afirmação, a metodologia de estimativa de custos por analogia, é uma ferramenta menos precisa, por só considerar algumas informações de projetos semelhantes já executados. Em compreensão Kato (2013b, p. 32) afirma que,

é uma forma de avaliação especializada (necessita de conhecimento de grupo, ou indivíduo especializado), pouco dispendiosa e, frequentemente, menos precisa, que utilizam custos reais de projetos anteriores similares para basear o custo do empreendimento a ser estudado, sendo aplicada, principalmente, em prognósticos de custos totais de empreendimentos que realmente são semelhantes àqueles que serviram de bases de estudo.

Portanto, a metodologia análoga permite realizar um custo sem acurácia, relacionado a um novo projeto em fase preliminar, baseado em projetos semelhantes. Martinelli (2009a) fundamenta que a estimativa análoga, é uma técnica se baseia nos custos de projetos passados de características próximas, servindo para estimar os custos de um projeto novo, como um *benchmark*, ou comparativo entre projetos parecidos.

• Raciocínio baseado em casos (RBC).

Para o método de raciocínio baseado em casos (RBC), o mesmo pode ser conceituado, como uma metodologia que apresenta uma visão confiável para os seus resultados, dependendo do tipo da qualidade das informações levantadas para estimativas de custos, sendo uma técnica que consegue solucionar novos projetos, por meio de adaptação dos que já foram executados. De acordo com Zima (2015), o RBC consiste em melhorar a base de conhecimento, formulando novos conceitos, testando a precisão dos dados e a assimilação de novos conceitos usando exemplos. Permitindo resolver novos problemas, buscando e adaptando casos já ocorridos.

Como explana Ji, Park e Lee (2011a), a idéia básica por trás da RBC, é a hipótese de que problemas semelhantes têm soluções semelhantes. Partindo dessa ideologia, o RBC pode ser apto a ser aplicado em tomadas de decisões de estimativas de custos, mostrando-se que pode ser implementado na construção civil, especificamente na engenharia de custos de

obras, e em outras áreas. Kim e Shim, (2013a) contemplam que o uso de RBC foi proposto como uma alternativa eficaz ao apoio à tomada de decisão. O RBC na indústria da construção, foi usado [...], como estimativa de duração e custo, tomada de decisão, gerenciamento, design de arquitetura, planejamento e programação.

Utilizando o método RBC como meio decisório para estimativa de custos, a forma de abordar a metodologia empregada é semelhante a tomada de decisão de um profissional experiente em um determinado caso, analisando as entradas das variáveis dos problemas, depois buscando correlacionar o novo problema com um semelhante, e por fim, identificando os caminhos para resolução do caso. Kim, An e Kang (2004a, p. 1237) definem que "os especialistas resolvem um problema da seguinte forma: Observam os principais atributos; Indentificam os atributos em problemas semelhantes anteriores em sua experiência: Prevendo a direção do novo problema com base nos problemas de experiências semelhantes."

Desse modo, pode-se apresentar os processos necessários para realizar uma análise de um projeto ou caso, utilizando o RBC. Para tanto Kim, An e Kang (2004b) sustentam que, para utilização do método RBC, deve-se seguir parâmetros e passos para analisar um novo caso, baseado nas semelhanças e históricos de projetos, consistindo em quatro subprocessos:

- 1°) Casos antigos, que representam experiências que o sistema adquiridos, são armazenados em uma base de caso.
- 2°) Quando um novo caso é apresentado ao sistema RBC, o sistema recupera um ou mais casos armazenados semelhantes ao novo caso de acordo com a porcentagem de similaridade (pontuação de similaridade) calculada por uma similaridade definida pelo usuário função.
- 3°) Os usuários tentam resolver o novo caso, adaptando ao(s) caso(s) recuperado(s), e essa adaptação é baseada nas diferenças entre os casos armazenados e o novo caso, a menos que os casos antigos recuperados sejam uma correspondência aproximada, e esse caso recuperado provavelmente precisa ser revisado.
- 4°) A nova solução é mantida como parte do armazenamento dos casos ao longo do teste.

O resultado do modelo RBC a partir de seus subprocessos, é representado pelo fluxo, de acordo com a figura 4.

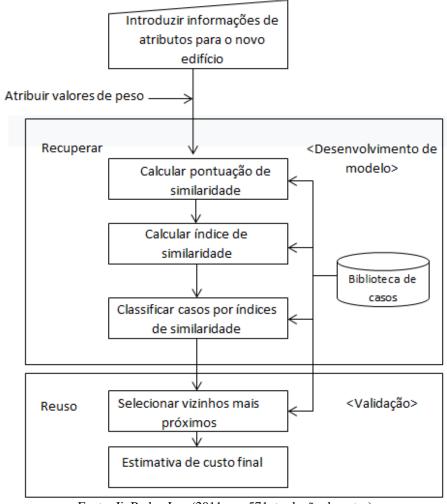


Figura 4 - Processo do modelo de estimativa de custo de raciocínio baseado em casos (RBC).

Fonte: Ji, Park e Lee (2011a, p. 571, tradução do autor).

Portanto, como já demonstrado, no método RBC, é necessário calcular a similaridade entre as variáveis, sendo elas determinadas por meio de duas fases, onde, apresentam-se consecutivamente por meio de uma função e um percentual de similaridade, entre os dados de entradas no modelo de estimativa. Kim, An e Kang (2004c) esclarece que o percentual de similaridade, indica a semelhança entre um novo caso e vários casos armazenados, onde é primeiramente calculada uma função de similaridade, e depois o percentual de similaridade das variáveis.

Na primeira fase, é determinada a função de similaridade entre as variáveis levantadas, sendo que, se o resultado da função que corresponde ao valor da variável do novo caso for menor ou igual a 10%, a função terá o valor igual a 1, caso contrário irá obter o valor igual a 0. Como evidenciam as equações (5) e (6) a seguir.

Se
$$\left| \frac{W_{i-T_i}}{T_i} \times 100 \right| \le 10\%$$
, $f(W_i, T_i) = 1$ (5)

Se
$$\left| \frac{W_{i-T_i}}{T_i} \times 100 \right| > 10\%, f(W_i, T_i) = 0$$
 (6)

Na segunda fase, por meio do cálculo do percentual de similaridade (Equação 7) entre casos novos e semelhantes armazenados na base de casos, é possível analisar o caso mais análogo para tomar como referência para um novo projeto.

$$p \% = \frac{\sum_{i=1}^{n} f(W_i, T_i) x s_i}{\sum_{i=1}^{n} s_i} \times 100\%$$
 (7)

Sendo que:

f(Wi, Ti) = Função de similaridade;

p = Percentual de similaridade;

T = Caso armazenado na base de casos;

W = Variável de novo casos;

n = Número de variáveis em cada caso;

i = Variável individual de 1 a n;

s = Pesos ou importância das variáveis utilizadas;

A aplicação do método RBC na prática pode ser demonstrada referente à viabilidade de obras residenciais, onde, busca-se estimar preliminarmente os custos envolvendo a construção. Citando An, Kim e Kang (2007), em seu trabalho, realizaram a estimativa do custo de construção de um edifício residencial, utilizando o método de raciocínio baseado em casos para estimar o custo de construção de edifícios residenciais nas etapas preliminares de projeto, onde foram coletadas informações de 580 edifícios residenciais, construídos entre 1997 e 2002 na Coréia.

Para Koo *et al.* (2010), evidenciou em seu estudo, o desenvolvimento e aplicação de um método híbrido baseado em RBC para prever a duração e os custos da construção, em referência a projetos de moradias multifamiliares.

• Lógica difusa.

Utilizando a metodologia lógica difusa para realizar a estimativa de custos preliminares, permite-se analisar uma grande quantidade de variáveis, buscando dirimir ambiguidades nos dados verificados, selecionando a melhor alternativa para tomada de decisão. Alkmim (2007a) Salienta que a lógica difusa considera identificar de forma distribuída as variáveis que impactam na escolha de decisões, modificando as dúvidas em números, podendo ser representada graficamente, pelo fato de analisar um grande número de variáveis.

Da mesma forma, essa técnica é diferente da modelagem clássica boleana, onde realizam funções binárias com resultados direcionados a fatores simples, não deixando margem para análises aproximadas de conjuntos que possuem vários tipos de limites ou dados. Segundo Benevides (2017) e Dacoregio (2017c), a lógica difusa tem por objetivo modelar modos de raciocínio aproximados ao invés de precisos, inserindo parâmetros de ponderação, que concedam saídas com soluções relativamente falsas ou moderadamente verdadeiras.

Nesse sentido, o processo de estimativa por lógica difusa é aplicado por meio de etapas, onde será realizada a análise das informações disponíveis no caso correspondente. Baseado nesse aspecto, a implementação dessa técnica, se dá em quatro fases. De acordo com Borba, Dal Ri Murcia e Duarte Souto Maior (2007), o levantamento de uma estrutura orçamentária para inserção de custos é obtida por quatro processos: estabelecimento das variáveis que formarão o novo direcionador de custos, processo de fuzzificação dos dados, estabelecimento das regras de inferência e processo de defuzzificação.

Inicialmente, no processo é determinada as variáveis de entrada e as saídas a serem analisadas. Após isso, é realizado o processo e fuzzificação, onde são escolhidos os parâmetros e o método para determinar os níveis de pertinência dos dados, onde as variáveis numéricas serão modificadas em qualitativas. Na terceira etapa do processo, são determinadas as regras de inferência, onde é determinado o resultado qualitativo de cada variável, sendo necessário um especilista para realizar esse resultado. E por fim, o último passo é o agrupamento ou defuzzificação, onde será transformado os dados resultantes qualitativos em variáveis numéricas. Corroborando com esse raciocínio, a Figura 5 explana o processo de utilização da metodologia de lógica difusa.

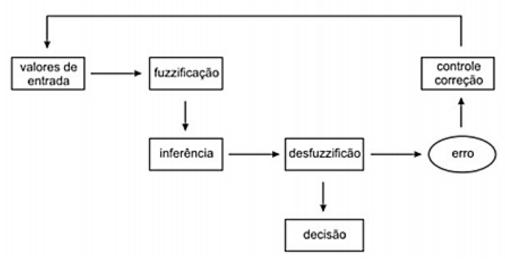


Figura 5 - Modelo de um sistema difuso.

Fonte: Alkmim (2007, p. 12).

Na visão de Dacoregio (2017d, p. 51-52), a metodologia é explicada e conceituda como:

Entrada de amostras: é o conjunto dos parâmetros de entrada e o conjunto dos parâmetros de saída. Fuzzificação: corresponde à transformação dos dados de entrada em cada conjunto difuso usando as funções de pertinência. Todas as informações relativas à imprecisão ou incerteza associada às variáveis devem ser consideradas. Inferência: A finalidade é relacionar as variáveis entre si, através das regras. Desfuzzificação: É a transformação do resultado final em um valor único e nítido, ou seja, é a tradução do processo de inferência em um valor numérico. Este processo pode ser realizado por vários métodos de acordo com a aplicação.

Portanto, esse método é bastante utilizado em várias áreas na engenharia civil, sendo uma técnica, como um bom aproveitamento dos resultados, demonstrando uma solução mais usual. Como exemplo na construção civil, Sawalhi (2012) apresenta em seu artigo a metodologia lógica difusa aplicada em um estudo que verificou os fatores que afetam a estimativa de custos de um projeto, onde foram verificados 106 estudos de casos de projetos de construção, implementando as variáveis intrínsecas a previsão de estimativas de custos.

Assim também, além das metodologias já citadas acima, outros métodos bastante difundidos no Brasil são utilizados para realizar estimativa de custos, sendo eles, o método de estimativas paramétricas, CUB.

Para Alkmim (2007b), "a execução da técnica de lógica difusa é bastante utilizada na construção civil quando referida a trabalhos no mundo relacionados a áreas da engenharia. De acordo com a alegação acima, o Quadro 1 apresenta tais afirmações.

Quadro 1 - Áreas de aplicação da lógica difusa em engenharia civil.

Área de Estudo	Aplicação
Análise Estrutural	Determinação de danos em estruturas, índices de segurança, reabilitação de estruturas, desenvolvimento de estruturas inteligentes, etc.
Construção	Inovação de métodos, planejamento, projetos, gestão, etc.
Hidráulica	Aproveitamento de recursos aquíferos, análise de recursos hidráulicos, otimização de recursos, etc.
Mecânica dos Solos	Classificação de solos, determinação de densidade relativa, etc.
Transporte	Análise de tráfego, acidentes, etc.
Engenharia Ambiental	Seleção de áreas para depósitos de rejeitos, etc.

Fonte: Marques (2000, apud ALKMIM, 2007b, p. 9).

• Estimativa paramétrica.

Sendo a estimativa paramétrica, definida por Gonçalves (2011d, p. 4) como "uma correlação por aproximação de serviços e preços dos principais itens da construção, com as poucas informações disponíveis na fase de estudo de viabilidade." E para United States Of America (2015), é o apuramento de uma metodologia de estimativa de custos usando relações entre custos históricos e outras variáveis. A principal vantagem é que a estimativa geralmente pode ser realizada rapidamente e ser facilmente replicada. Preliminarmente com informações escassas, a qualidade na concepção das variáveis influencia nos resultados da aplicação da metodologia. Martinelli (2009b, p. 88) Aborda que "dependendo da qualidade e série histórica dos dados utilizados, essa técnica pode apresentar alto grau de confiabilidade e exatidão."

Porém, a metodologia já relatada, mostra-se uma das melhores técnicas para estimar custos preliminares de projetos, baseadas em orçamentos e estimativas já realizadas, demonstrando ser um bom gerenciador de novos projetos. Valle *et al.* (2010) Fundamentam que as estimativas históricas, quando confrontadas com o cronograma e os custos sendo executados, são as melhores ferramentas para a produção de novas estimativas. A acessibilidade dessas informações históricas é um indicador de maturação da gestão do projeto.

Além de o método possuir a vantagem da rapidez na estimativa de custos, baseando-se em poucas informações, é inerente aplicar indicadores e ferramentas matemáticas e estatísticas para alcançar um resultado satisfatório na análise preliminar de custos. Como reitera Matos (2017) a metodologia paramétrica utiliza uma relação estatística entre dados históricos relevantes e outras variáveis para calcular uma estimativa de custos para determinada atividade do projeto pode ser bem precisa e confiável dependendo da qualidade dos dados utilizados. Para PMI (2013b, p. 169), "estimativa paramétrica utiliza uma relação estatísticas entre dados históricos e outras variáveis (metros quadrados em construção) para calcular uma estimativa para parâmetros da atividade, tais como duração, orçamento e custo."

Aplicação da metodologia paramétrica relacionado a custos podem ser citados nos trabalhos de Mascaró (1998), que propôs diferentes indicadores calculados parametricamente, considerando que as decisões de projeto estão diretamente relacionadas ao custo total da edificação. Para Otero (2000, p. 23), "a aplicação do método tem como objetivo analisar a precisão do uso dos modelos paramétricos em estimativas de custos e quantidades de serviços, materiais e mão-de-obra aplicados na construção de empreendimentos imobiliários." E para Parisotto (2003) foi realizado um estudo em uma construtora da cidade de Florianópolis, objetivando determinar o custo de execução de um projeto e ainda fazer a quantificação de serviços e mão-de-obra, que são passíveis de serem levantados por estimativas paramétricas.

• CUB.

Diante dos métodos já apresentados, o método de custos unitário de construção, representa um valor referencial, servindo como uma forma de indexação das estimativas de custos na construção civil. Para isso, o CUB é um método que estima o custo aproximado de construção, baseado em algumas variáveis como é o caso do metro quadrado de construção. De acordo com a NBR 12721 (ABNT, 2006a, p. 5), "o CUB fornece o custo por metro quadrado de construção do projeto-padrão considerado, calculado de acordo com a metodologia estabelecidas pelos sindicatos da indústria da construção civil, em atendimento ao disposto no artigo 54 da Lei n°4.591/64."

Para embasar a afirmação acima, o congresso nacional decretou a lei federal nº 4.591, de 16 de dezembro de 1964, que em seu artigo nº 53 determina que a associação brasileira de normas técnicas defina uma metodologia para o cálculo de custos unitários básicos de construção - CUB. (BRASIL, 1964)

Assim também, o CUB é bastante utilizado para realizar estimativas de custos na construção civil, relacionando variáveis como metro quadrado construído e áreas

equivalentes, buscando padronizar os projetos, para obter uma estimativa de custo próxima ao planejado. Xavier (2008, p. 31) ressalta que "em construção o indicador bastante utilizado é o custo do metro quadrado construído, sendo o Custo Unitário Básico - CUB, o mais utilizado na construção civil."

Diante desse cenário, o método é concretizado por meio de alguns parâmetros que são necessários para realizar sua aplicação, sendo primeiramente a escolha do projeto mais parecido com planejado, logo após, é inserido o valor do CUB para o projeto escolhido, e finalmente é realizada a adição das: áreas equivalentes levantadas multiplicadas pelo CUB, mais as despesas não incluídas no cálculo do CUB (serviços complementares, fundações dentre outros). O CUB é selecionado de acordo com os sindicatos da construção das regiões do local de construção da obra, sendo, portanto, a adição: CUB X somatório das áreas equivalentes. Valores das despesas não incluídas no cálculo do CUB (Fundações especiais, elevadores, etc), (ABNT, 2006b).

A Figura 6 explica de forma mais visual e didática, como é realizada a análise de custo, levando em consideração alguns indicadores de entradas e variáveis como exemplo demonstrativo para processar a estimativa de custo global de construção de um projeto ou obra.



Figura 6 - Cálculo do custo global de construção.

Fonte: Kato (2013b, p. 37), adaptado de ABNT NBR 12721 (2006).

O CUB aplicado à estimativa de custos pode ser evidenciado no estudo de Raiser (2015), onde foi realizado o comparativo de custos orçados entre os estimados pelo CUB, em uma edificação multifamiliar. Paradoxalmente, Fernandes *et al.* (2017) validaram em seu estudo, a inserção do orçamento por estimativa utilizando o CUB, sendo que se trata de um projeto de implantação de cinco unidades habitacionais multifamiliares para população de baixa renda, que será executado no município de Belo Horizonte.

2.3. Principais Características de uma Edificação.

Uma das premissas para a escolha das características de um empreendimento é baseado em uma maior diversidade de tipologias de unidades habitacionais existentes. Inicialmente, não existia essa constatação, o que prejudicava a análise de escolha de critérios referentes à edificação. Nesse sentido, em que as escolhas conscientes das amostras por qualquer critério, foram modificando com o decorrer do tempo, e refletiu no atual cenário da construção civil. Teixeira *et al.*(2015) relatam que, no entanto, constatou-se que mesmo buscando essa diversificação, havia muitas convergências de resultados, tanto nas características físicas dos ambientes quanto na elaboração dos tipos mais comuns de projetos.

Portanto, pode-se observar que nos dias atuais, o panorama mostra-se que está mais diversificado o tipo de escolha de características de uma edificação, pelo fato do acesso a diferentes metodologias de estimativas, como exposto nos quadros 2 e 3.

Quadro 2 - Indicadores de custos baseados em metodologias de estimativas – Parte 1.

Metodologia	Indicadores ou Variáveis	Unidades
	Números de Pavimentos Tipo	Unid,
	Prazo de Construção	Tempo
	Área Útil	m²
PARAMÉTRICO	Índice de Compacidade	%
	Quantidade de Dormitórios	Unid.
	Área Total Construída	m²
	Área Bruta de Construção	m²
RBC	Localização	Adimensional
	Classe de Acabamento	Adimensional

Quadro 3 - Indicadores de custos baseados em metodologias de estimativas – Parte 2.

	Custo/m²	R\$	
CUB	Área de Construção	m²	
CCB	Tipologia de Construção	Adimensional	
	Padrão de Acabamento	Adimensional	
	Área do Piso	m²	
	Número de Andares	Unid.	
LÓGICA DIFUSA	Tipo de Acabamento Externo	Adimensional	
	Número de Elevadores	Unid.	
ÁNALOGA	Histórico de Projetos Adimensional		

A estimativa preliminar de custo depende de parâmetros de entradas de dados para executar a devida análise, sendo os indicadores que determinam as características de cada projeto analisado, onde, cada método citado anteriormente possui um determinado conjunto de variáveis de entradas.

2.4. Redes Neurais Artificiais.

Pelas características observadas referentes ao cérebro humano como: capacidade de aprendizagem, processamento de informações incertas, tolerância a falhas e resistência, mesmo que alguns neurônios sejam eliminados, o cérebro ainda continua a funcionar. Com isso, buscou-se aperfeiçoar e implementar essas características cognitivas em tecnologia como as redes neurais artificiais. Rauber (2005) esclarece que, na tentativa de copiar a estrutura e o funcionamento do cérebro humano, foi necessário analisar o funcionamento do comportamento biológico do cérebro humano para transformar comportamento biológico em redes neurais artificiais.

Para tanto, Braga, Carvalho e Ludermir (1998) explicam, que as redes neurais artificiais são sistemas paralelos distribuídos, compostos por unidades de processamento simples (nós), que calculam determinadas funções matemáticas (normalmentes não-lineares). Bocanegra (2002a, p. 4) defende que as redes neurais artificiais (RNAs) são uma terminologia genérica que abrange uma grande quantidade de arquiteturas e paradigmas, tendo como objetivo compreender o funcionamento do cérebro humano e, de alguma forma, procurar reproduzi-lo. Já (DACOREGIO, 2017e, p. 52) acrescenta que,

as redes neurais artificiais (RNAs) são modelos matemáticos capazes de simular a forma de processamento de informações do sistema nervoso biológico. Uma RNA é

capaz de aprender por meio de treinamento, realizado pela associação entre um conjunto de estímulos, ou dados de entrada, com outro conjunto de respostas, ou dados de saída. Após treinada, uma RNA se torna capaz de fornecer respostas novas para cada novo conjunto de entradas recebido.

Da mesma forma, a rede neural artificial é conceituada como parte de multidisciplinas empíricas, sejam matemáticas, físicas ou estatísticas, que consegue sintetizar padrões e tomar decisões baseadas no aprendizado da rede neural. Todavia, a rede neural pode ser identificada como uma subespecialidade da inteligência artificial, outras vezes como uma classe de modelos matemáticos para problemas de classificação e reconhecimento de padrões, outras ainda como uma categoria de modelos em ciência da cognição. (KOVÁCS, 2006a, p. 10).

A história das redes neurais artificiais se dá baseada em um contexto histórico sobre a descoberta dos neurônios por Gustav Valentin e Christian Gottfried Ehrenberg dentre os anos de 1836 e 1838, como argumenta Sabbatini (2003). A iminência do surgimento da ferramenta microscópica facilitou aos cientistas analisarem as células do tecido nervoso. Sendo que por volta de 1940, os trabalhos dos neurofísiologistas Donald Hebb e Karl Lashley evidenciaram as realizações das primeiras simulações feitas com papel e lápis. (LOESCH e SARI, 1996). Todavia, diante esse panorama de descorbertas, surgiu a teoria das redes neurais, onde remonta processos e características do cérebro biológico humano, para reproduzir resultados mais eficientes. Contudo, nas palavras de Kovács (2006b, p. 13) "a origem da teoria de redes neurais, remonta os modelos matemáticos e os modelos de engenharia, de neurônios biológicos.", o quadro 4 e 5 reproduzem a ordem da evolução das redes neurais artificias.

Quadro 4 - Contexto cronológico histórico das RNAs – Parte 1.

AUTORES	DEFINIÇÃO	
(MCCULLOCH and PITTS, 1943)	O surgimento das RNAs deu-se com o modelo matemático do neurônio biológico modelo, esse modelo denominado neurônio MCP (McCulloch-Pitts), que é descrito por um conjunto de n entradas, as quais são multiplicadas por um determinado peso e, em seguida, os resultados são somados e comparados a um limiar.	
(ROSENBLATT, 1958)	A concepção do perceptron, onde possuía a característica de apresentar de um algoritmo de aprendizagem capaz de adaptar os pesos internos do neurônio de maneira que seja capaz de resolver o problema de classificação linear, sendo aplicado em uma máquina chamada MARK I PERCEPTRON.	

Quadro 5 - Contexto cronológico histórico das RNAs - Parte 2.

(WIDROW and HOFF, 1960)	As redes neurais artificiais evoluíram em relação ao Perceptron, com os modelos de aprendizado chamados "Adaline" – Adaptive Linear Neuron / Element, e "Madaline" – Many Adaline. Este último modelo operava com três camadas, sendo uma de entrada, uma de saída e outra intermediária, chamada de camada oculta.
(MINSKY and PAPERT, 1969)	Mostrou deficiências e limitações do modelo MLP, provocando um desinteresse pelos estudos relacionados às RNAs.
(HOPFIELD, 1982)	Foi novamente despertado o interesse pelos estudos relacionados às redes neurais, onde foram desenvolvido redes simétricas de aprendizagem com base no Backpropagation.
(RUMELHART et al., 1986)	Para o problema de uma simples função de classificação não poder ser calculada pelo perceptron, foi popularizado uma solução de carácter universal para esse tipo de problema. A partir desse momento, surgiram os modelos que foram desenvolvidos durante os anos, pesquisas e inúmeros outros modelos de redes neurais artificiais junto com algoritmos de aprendizagem foram apresentados.

Convém, no entanto que as redes neurais artificiais funcionam como um neurônio, onde são introduzidas variáveis ou indicadores para serem transformados em saídas consistentes, baseado em um peso que cada variável irá possuir. De acordo com Bocanegra (2002b, p. 7), o neurônio artificial é a unidade fundamental no processamento de um RNA, o qual recebe uma ou mais entradas, transformando-as em saídas. Como cita Fleck *et al.* (2016b), as redes neurais são compostas por uma quantidade de entradas e unidades de processamento, as quais são ligadas através de pesos sinápticos. As entradas são propagadas através da topologia da RNA, sendo transformadas pelos pesos sinápticos e pela função de ativação (AF) dos neurônios.

O funcionamento de uma rede neural se dá por meio de alguns processos, como entrada de sinapses com pesos interligados, para realizar a análise, após isso, é realizado uma unificação dessa análise por meio de um somatório, selecionando uma combinação de indicadores para resultar em uma saída de informações mais consistentes por meio de análises estatísticas. Com base na ilustração a seguir, busca-se explicar seu funcionamento.

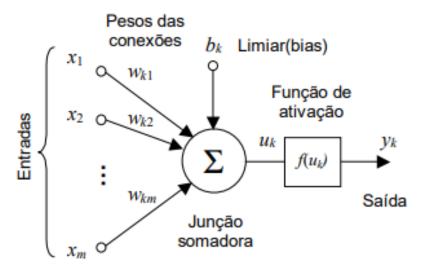


Figura 7 - Estrutura básica de uma rede neural artificial.

Fonte: De Castro e Von Zuben (2001, p. 19).

De acordo com a Figura 7, pode-se explicar como um neurônio artificial é composto por entradas, onde essas entradas realizam as conexões entre as variáveis e depois e complementada por um centro ou núcleo, onde junta as informações mais relevantes, e por fim determina o resultado do processo por meio de um algoritmo ou uma função, sendo defendido por Dacoregio (2017f, p. 59) "por três elementos: as conexões, um núcleo de soma e uma função de transferência ou ativação." Na Figura 7 estão ilustrados estes elementos, onde "x" representa as entradas recebidas por um neurônio; "b" é uma entrada adicional fixa, chamada de viés, ou bias; "w" são conexões com pesos, ou ponderações relativas para cada conexão de entrada; "\sum " é uma função soma, ou núcleo do neurônio; "u" é uma função de transferência; "y" é à saída do neurônio.

As redes neurais podem ser determinadas pelas características de processamento, pela topologia, ou seja, o número de camadas, de variáveis de processamento e de conexões, e pode ser determinada pela lei de aprendizagem ao qual foram submetidas. O processo por meio da lei de aprendizagem de redes neurais torna-se um ajustamento dos pesos das conexões, nesse aprendizado, é possível até que os valores de saídas alcancem o valor mínimo resultado da rede. Com por exemplo o Perceptron, Adaline e Adaline, Backpropagation, são supervisionadas pela lei da aprendizagem das redes neurais.

Assim também, Medeiros (1999, p. 74) fundamenta que as RNAs podem ser classificadas por suas características, que podem ser contínuas, discretas, determinística e estocástica, e quanto sua estrutura, podem ser redes com múltiplas camadas (multilayer

feedforward network), cujo fluxo de dados segue uma única direção e podem ser redes recursivas (recurrent network).

A tipologia mais utilizada para estimativas de custos é a feed-forward Backpropagation, onde se constitui os sinais e seguem no fluxo de saída da rede, sendo que na lei de aprendizagem o sentido de ajuste dos pesos relacionado às entradas segue o sentido contrário, ou seja, do final para o início da rede. Sob o ponto de vista de Hecht-Nielsen (1989), de todas as tipologias de redes, a mais utilizada para problemas que envolvem estimativas de custos é a Feed-Forward Backpropagation.

A aplicação das redes neurais artificiais na prática, especificamente na construção civil brasileira, está se tornando cada vez mais difundida e utilizada em vários setores da engenharia, onde pesquisadores defenderam a aplicação das RNAs, como mostra o quadro 6.

Quadro 6 - Aplicação de RNAs para estimativa de custos na engenharia.

PESQUISADOR	ABORDAGEM
(GÜNAYDIN e DOGAN, 2004)	Custo de Estrutura de Edificações
(KIM e SHIM, 2013b), (JI, PARK e LEE, 2011b)	Custo de Edificações
(PETROUTSATOU, GEORGOPOULOS, et al., 2012)	Custo de Túneis
(LI e YOU, 2012)	Custo de Estradas
(MILION, 2014)	Custo de Instalações Elétricas
(ALQAHTANI e WHYTE, 2016)	Ciclo de Vida de Projetos

Fonte: Autor.

Portanto, na prática, a aplicação das redes neurais, deve passar por um treinamento ou validação antes de ser utilizada, pois para seus resultados serem positivos, é necessário treinar a rede neural para obter um resultado satisfatório, seja qual for o tipo de problema relacionado à estimativa preliminar de custos. Todavia, essa aplicação não ocorre de maneira tão simples. De acordo com Fleck *et al.* (2016c, p. 56) "inúmeros problemas podem ocorrer durante o seu processo de implementação, podendo restringir sua aplicação em situações específicas." Assim, pesquisas constantes são necessárias a fim de se chegar a uma arquitetura computacional que possibilite ampliar as atividades de modelagem, simulação e controle.

2.5. Levantamento de dados.

Para o levantamento de dados, será baseado nos autores referente ás variáveis de entradas para estimar os custos de um projeto, com isso, dentre os autores elencados no tópico redes neurais artificiais relacionado a aplicação do método em várias áreas da engenharia, resultando em uma análise como mostra a quadro 7, onde evidencia a quantidade de variáveis adotadas nos estudos dos autores ditados no tópico redes neurais artificiais, servindo como uma base referencial para levantar a quantidade média de variáveis, em concordância com a variação das variáveis entre os autores.

Quadro 7 - Quantidade de variáveis.

PESQUISADOR	NÚMERO DE VARIÁVEIS DE ENTRADA UTILIZADAS	MÉDIA DO NÚMERO DE VARIÁVEIS DE ENTRADA
(ALQAHTANI e WHYTE, 2016)	8	
(KIM e SHIM, 2013b), (JI, PARK e LEE, 2011b)	12	
(PETROUTSATOU, GEORGOPOULOS, et al., 2012)	6	8
(MILION, 2014)	6	
(GÜNAYDIN e DOGAN, 2004)	8	

3. METODOLOGIA

3.1. Delineamento da Pesquisa.

A pesquisa tem como objetivo aplicar uma rede neural para melhorar a previsão de estimativa preliminar de custos, comparando com as estimativas tradicionais aplicadas na construção civil na região metropolitana de Fortaleza. Com isso, a pesquisa tem como pressuposto apresentar as características das variáveis de entrada, definir a escolha da rede neural mais adequada para o caso, formular o treinamento dessa rede, validar os seus resultados, para enfim diagnosticar aptidão para aplicação na prática. Contudo, a metodologia a ser abordada na pesquisa, irá conduzir uma visão sobre a classificação, o passo a passo, os instrumentos a serem aplicados, e o ambiente de pesquisa.

3.2. Classificação.

Tratando-se da metodologia, o trabalho deve ser classificado, quanto à escolha para o enquadramento do trabalho, o mesmo foi classificado quanto à abordagem, à natureza, aos objetivos e quanto aos procedimentos. Para Richardsonet *et al.* (2007), a abordagem de pesquisas científicas classificam-se em qualitativa e quantitativa. O trabalho possui a características de uma abordagem qualitativa, pois serão levantados e utilizados dados que ajudam a compreender o problema em foco do estudo, sendo essa problemática fenômenos ocorridos do dia a dia na área da engenharia de custos. Portanto, a escolha do tipo de pesquisa a ser aplicada tem uma maior identidade com o contexto do trabalho e condiz com o dilema levantado.

Contextualmente, as pesquisas qualitativas possuem um histórico de aplicação desde o século XIX. Citando Zanella (2011, p. 100) "historicamente, as pesquisas qualitativas iniciaram na segunda metade do século XIX, em estudos sociológicos e antropológicos." No entanto, somente nos útimos 40 anos o método ganhou espaço reconhecido em outras áreas, como a psicologia, a educação e a administração, relata Godoy (1995).

A pesquisa qualitativa é conceituada como ferramenta que tem o foco voltado para o empirismo, se preocupando com a investigação e amplitude de um grupo focal. Para Vieira (1996), a pesquisa qualitativa é definida como a que se fundamenta principalmente em análises qualitativas, caracterizando-se, pela não utilização de instrumental estatístico na análise dos dados. Esse tipo de análise tem por base, conhecimentos teórico-empíricos que permitem atribuir-lhe cientificidade.

Sob o ponto de vista de Kripka, Scheller e Bonotto (2015, p. 243), "os estudos qualitativos se caracterizam como aqueles que buscam compreender um fenômeno em seu ambiente natural, onde esses ocorrem. Para tanto o investigador é o instrumento principal por captar as informações, interessando-se mais pelo processo do que pelo produto."

Sequentemente, a natureza de pesquisa pode ser caracterizada de forma aplicada ou básica, onde as pesquisas de caráter básico têm como objetivo o desenvolvimento teórico, enquanto as pesquisas práticas possuem a característica de soluções de problemas práticos. Silveira e Córdova (2009, p. 34-35) definem que "a pesquisa básica objetiva gerar conceitos novos, para o avanço científico, sem aplicação prática, com interesses universais. Já a pesquisa prática, objetiva gerar conceitos para aplicação prática, levando à solução de problemas específicos, com interesses locais."

Portanto, o trabalho tem como natureza de pesquisa o aspecto prático, por buscar soluções para problemas corriqueiros da sociedade de forma aplicada na prática, gerando ideologias em contraparte ao problema elencado, contribuindo para o avanço científico. Todavia, possui como finalidade característica saber lidar e gerar soluções para os problemas práticos. Trujillo Ferrari (1982, p. 171) enfatiza que "não obstante a prática da pesquisa, ela pode contribuir teoricamente com novos fatos para o planejamento de novas pesquisas ou mesmo para a compreensão teórica de certos setores do conhecimento."

Em relação ao objetivo da pesquisa, Gil (2002, p. 41) elucida que com relação às pesquisas, "é usual a pesquisa ser classificada com base em seus objetivos gerais. Assim, é possível classificar as pesquisas em três grandes grupos: exploratórias, descritivas e explicativas." A pesquisa é qualificada como uma pesquisa exploratória, pela evidência de ser aplicada a redes neurais relacionadas a custos na área da construção civil, possuindo atributos como a concepção de ideias para adaptar aos problemas, produzindo princípios de indicadores que contribua para o trabalho.

Révillon (2003, p. 23) "ressalta que esse tipo de pesquisa é frequentemente utilizado na geração de hipóteses e na identificação de variáveis que devem ser incluídas na pesquisa." A pesquisa exploratória proporciona a formação de ideias para o entendimento do conjunto do problema, (MALHOTRA, 1993). Parece ser simples esse tipo de pesquisa mais busca um maior conhecimento da realidade

Já Kinnear e Taylor (1987) afirmam ainda que as pesquisas exploratórias são usualmente utilizadas na investigação preliminar da situação com um mínimo de custo e tempo, auxiliando o pesquisador a conhecer mais acuradamente o assunto de seu interesse. Assim sendo, este tipo de pesquisa tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com

o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. A grande maioria dessas pesquisas envolve: (a) levantamento bibliográfico; (b) entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; e (c) análise de exemplos que estimulem a compreensão. (GIL, 2007a)

Finalmente, quanto aos procedimentos, existem três grupos predominantes nas pesquisas. Gerhardt e Silveira (2009, p. 67) explana que a metodologia científica é definida quanto aos procedimentos a serem adotados como: pesquisa experimental, levantamento, estudo de caso, pesquisa bibliográfica. Portanto, o trabalho é classificado quanto ao procedimento, sendo de forma experimental, pelo fato de ter características de tratamento das variáveis, onde será analisada os tipos de resultados baseados em testes e validações da rede neural artificial.

O estudo experimental segue um planejamento rigoroso. As etapas de pesquisa iniciam pela formulação exata do problema e das hipóteses, que delimitam as variáveis precisas e controladas que atuam no fenômeno estudado. (TRIVIÑOS, 1987). Para Fonseca (2002), a pesquisa experimental escolhe certos assuntos parecidos, expõe a intervenções diferentes, analisando as variáveis estranhas e checando se as diferenças observadas nas respostas são estatisticamente significantes. Os efeitos observados são relacionados com as variações nos estímulos, pois o propósito da pesquisa experimental é apreender as relações de causa e efeito ao eliminar explicações conflitantes das descobertas realizadas.

No entendimento de Gil (2007b), a pesquisa experimental é a que envolve algum tipo de experimento, onde o pesquisador trabalha com variáveis que são manipuladas pelo pesquisador (variável independente) e variáveis dependentes (que sofram a influência do pesquisador), tornando-se o delineamento mais prestigiado nos meios científicos.

3.3. Método abordado.

A partir da classificação da pesquisa, foi desenvolvido o fluxograma, onde demonstra o passo a passo de como será realizado o trabalho, seguindo inicialmente do levantamento das variáveis baseado em parâmetros e na literatura pré-estabelecidos antes do levantamento, para determinar uma arquitetura de RNA que consiga se adequar ao problema elencado no trabalho, para depois treinar ou testa a RNA, para finalmente analisar seus resultados para buscar reduzir a margem de erro em estimativas preliminares de custos.

De forma geral, podem-se perceber pela Figura 8 a forma como foi abordada a pesquisa, pode ser explicada por meio de um fluxograma de como será realizada o passo a passo da metodologia para atingir o objetivo geral do trabalho.

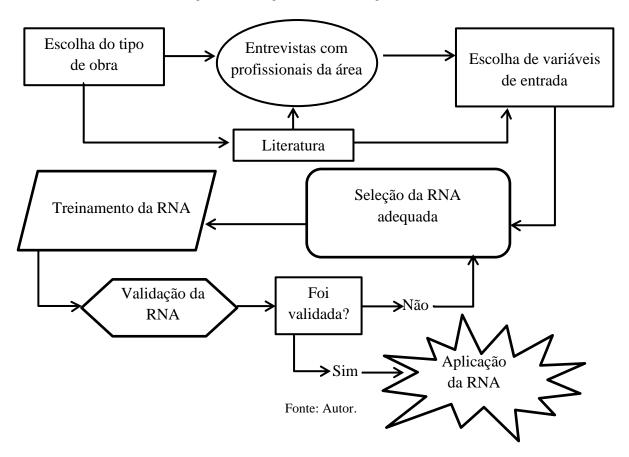


Figura 8 - Fluxograma da metodologia do trabalho.

Para realizar o treinamento e validação a RNA, é necessário realizar cálculos de avaliação para explicar melhor como funciona o processo de da RNA, onde foram levantadas indicadores de 12 obras sendo 9 obras verificadas para treinamento e 3 obras para validação, onde é analisado o custo previsto pela RNA de cada obra multiplicando pelo seu peso, sendo esses pesos as características de cada variável, com isso tem-se também o custo real de cada obra levantada.

Onde por fim tem-se um alvo ou seja, um valor do erro da estimativa de cada obra, sendo o que queremos minimizar. Portanto foi considerado o módulo na equação do alvo porquê se tiver uma diferença muito grande positiva ou muito grande negativa, eles irão se anular e terá uma diferença pequena, e para evitar esse efeito foi utilizado o módulo, pois mesmo obtendo uma diferença negativa ela irá aumenta, então o intuito é diminuir o alvo. A seguir demonstra a equação 8 e 9 utilizada na RNA.

Exemplo da aplicação da equação 8 na obra 1;

Obra 1
$$\longrightarrow$$
 CP1 = x1.p1+ x2.p2 + x3.p3 + x4.p4 + x5.p5 + x6.p6 + x7.p7 + x8.p8 + x9.p9 + x10.p10 + x11.p11 + x12.p12 + x13.p13 + x14.p14+ x15.p15 + x16.p16 + x17.p17 + x18.p18 + x19.p19 + x20.p20 + x21.p21 + x22.p22 + x23.p23 + x24.p24 + x25.p25 + x26.p26

$$\mathbf{E} = \mathbf{\Sigma} \mid \mathbf{CRn} - \mathbf{CPn} \mid :: \mathbf{E} = \mid \mathbf{CR1} - \mathbf{CP1} \mid + \mid \mathbf{CR2} - \mathbf{CP2} \mid + \mid \mathbf{CR3} - \mathbf{CP3} \mid + \\ \mid \mathbf{CR4} - \mathbf{CP4} \mid + \mid \mathbf{CR5} - \mathbf{CP5} \mid + \mid \mathbf{CR6} - \mathbf{CP6} \mid + \mid \mathbf{CR7} - \mathbf{CP7} \mid + \mid \mathbf{CR8} - \mathbf{CP8} \mid \\ \mid + \mid \mathbf{CR9} - \mathbf{CP9} \mid + \mid \mathbf{CR10} - \mathbf{CP10} \mid + \mid \mathbf{CR11} - \mathbf{CP11} \mid + \mid \mathbf{CR12} - \mathbf{CP12} \mid$$
(9)

Onde:

Xn.Pn = Variável multiplicada pelo seu peso;

CPn = Custo previsto de n obras;

CRn = Custo real de n obras;

E = alvo ou estimativa de erro em módulo;

3.4. Instrumento de Pesquisa.

Para o levantamento das variáveis ou indicadores de entrada na rede neural, faz-se necessário conhecer quais são as características intrínsecas que influenciam para realizar a estimativa preliminar de custo de uma determinada obra. Diante a isso, existem vários tipos de técnicas de coletar e análise de variáveis, podendo ser por meio de questionários, entrevistas, ou observações e análises de documentos.

A coleta de dados para o trabalho foi baseada na técnica de entrevista, que possui atributos qualitativos. Portanto, o levantamento dos dados foi baseado em grupos de obras, construtoras ou grupos de discussão para embasar sobre quais parâmetros são considerados para realizar uma estimativa preliminar de custo.

Sendo assim, a forma de organizar e apresentar a entrevista, pode se dar de vários formatos, seja ela: estruturada, não estruturada, semiestruturada ou sondagem de opinião. Partindo dessa ideologia a coleta de dados da pesquisa possui as características de uma entrevista no formato de sondagem de opinião, onde é desenvolvido o uso de um questionário estruturado "Apêndice A – Roteiro para levantamento de indicadores para estimativa preliminar de custos," e Apêndice B – Roteiro para levantamento de informações de orçamentos de obras em Fortaleza – Ce, onde o instrumento de coleta é o questionário, mais a técnica de coleta desses dados é a entrevista do tipo sondagem de opinião.

3.5. Ambiente de Pesquisa.

Com base no contexto apresentado referente aos meios de levantamentos de dados, o trabalho é delimitado em analisar as variáveis que impactam na estimativa preliminar de custos, obtendo como referência obras na região metropolitana de Fortaleza, construções civis tradicionais, ou seja, leves, e obras executadas em determinadas ordens de tempo.

3.6. Variáveis utilizadas

Baseado na metodologia adotada, para o desenvolvimento da rede neural, as variáveis foram predeterminadas como variáveis dependentes de informações intrínsecas no processo inicial de levantamento da estimativa de custo de obras, e foram também pré-fixadas levando em consideração entrevistas realizadas principalmente a um público alvo de profissionais da área de engenharia civil, sendo eles(as): engenheiros(as) civis, construtores(as) e incorporadores, utilizando como apoio para o levantamento das variáveis a serem analisadas, o questionário contido no "Apêndice A – Roteiro para levantamento de indicadores para estimativa preliminar de custos." Resultando em um total de informações de 12 obras já executadas, demonstrando uma amostra essencial para o desenvolvimento do estudo.

E também foram consideradas as variáveis mais utilizadas pela literatura, para analisar as estimavas preliminares de custos fundamentada na aplicação de redes neurais artificiais na realização de estimativas de custos em obras. Assim, foram evidenciados um total de 26 variáveis a serem analisadas no processo, sendo estes direcionadores de custos. Como demonstra o quadro a seguir.

Quadro 8 - Direcionadores de custos escolhidos.

PROJETO ARQUITETURA	LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA
1. Quantidade de Pavimentos (und)	15. Localização (IDH)
2. Quantidade de Dormitórios (und)	16. Índice de aproveitamento
3. Quantidades de banheiros (und)	17. Tx de ocupação
4. Fachada	18. TX Permeabilidade (%)
5. Campo/Quadra esportes	PLANEJAMENTO
6. Playground	19. Prazo de Construção (Meses)
7. Tipologia da construção	20. INCC
8. Projeção da Construção (m²)	21. TX adm construtor (%)
9. QTD Unidade autonomas	22. CUB (R\$)
10. Piscina (Sim/Não)	23. Orçamento (R\$)
11. Elevadores (Qtd)	OUTROS PROJETOS
12. Subsolos (Qtd)	24. Bombas de recalques
13. Área Total Construída (m²)	25. Rebaixamento lençol freático
14. Área do terreno (m²)	26. Tipo de fundação

Para as variáveis utilizadas no estudo a quantidade de pavimentos foram relacionadas a quantidade total de pavimentos em um empreendimento analisado. Para a quantidade dormitórios foram levados em consideração o total de dormitórios no projeto verificado. Já para quantidade de banheiros foram evidenciados de acordo com a quantidade total presente no empreendimento. Para fachada foi considerado pelo tipo de fachada empregada no projeto estudado, sendo subdividida em pintura, cerâmica/porcelanato, ventilada e pele de vidro.

A próxima variável analisada é se o projeto possui campo/quadra de esportes, outra variável levantada é se possui playground. Para a tipologia da construção foi analisada levando em consideração se o projeto era de galpões, condomínios populares, condomínio de casa, residências unifamiliares, edifícios residenciais ou edifícios comerciais. A variável projeção da edificação foi levantada relacionada a proporção da projeção da edificação no incidente no terreno.

Para a quantidade de unidade autônomas foi relacionada a parte da edificação a qual fica vinculada uma fração ideal do terreno e das coisas comuns e que se pode, também, atribuir uma parcela da área comum do condomínio. Para a variável piscina foi relacionada se o projeto possui ou não piscina. Já a variável elevadores foi designada pela quantidade total de elevadores presentes em um empreendimento. Para subsolos foi levado em consideração a quantidade de subsolos existentes no projeto. A variável área total construída foi analisada em

relação a área total construída do empreendimento analisado. Para a área do terreno foi levado em consideração a área total do terreno em estudo.

Subsequentemente para localização foi analisado o índice de desenvolvimento humano do local do empreendimento. Paro o índice de aproveitamento, taxa de ocupação e índice de permeabilidade foram concebidos de acordo com o local do empreendimento baseando-se na lei de uso e ocupação do solo de Fortaleza-Ce. Pra a variável prazo de construção foi analisada o tempo de construção do empreendimento em meses. Já o INCC (Índice nacional de custo da construção) foi levado em consideração o período inicial preliminar de cada projeto. Para a taxa administrativa do construtor foi levantada em relação a taxa adotada em cada projeto pelo construtor baseado no momento da concepção do projeto.

Conseguinte a variável do CUB (Custo unitário básico) foi levado em consideração ao padrão do projeto e ao período de execução da obra. Já para o orçamento foi evidenciado o orçamento executivo total realizado do empreendimento. E para a variável bomba de recalque foi analisado se no projeto possui bombas de recalque, sendo que relaciona-se com a variável rebaixamento do lençol freático, onde foi levantado se no empreendimento será preciso rebaixar o lençol freático do local do empreendimento e por fim foi analisado a variável tipo de fundação, onde foi verificado o tipo de fundação aplicada sendo portanto subdividida em fundações rasas e profundas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo tem como objetivo demonstrar as validações e resultados alcançados com a implementação da metodologia anteriormente exposta.

4.1. Levantamento.

Baseado na metodologia adotada, foi implementado para realizar o treinamento e validação da rede neural uma plataforma computacional baseada em inteligência artificial, que automatiza modelos analíticos para permitir que os computadores aprendam e obtenham *insights* por conta própria, sendo desenvolvida pela empresa *International Business Machines Corporation* (IBM), onde possui vários produtos voltados para soluções tecnológicas de problemas cotidianos. Portanto o produto utilizado para realizar o treinamento da rede neural do estudo, foi a plataforma IBM *Watson*, com o serviço *Studio*, demonstrado na Figura 9, onde permite modelar rede neural artificial, podendo usar estruturas de aprendizado profundo, sem a necessidade de codificação permitindo também criar, treinar e implementar modelos de autoaprendizagem usando fluxo de trabalho dinamicamente automatizado, possuindo diversos outros recursos que a plataforma disponibiliza.

IBM Apoio, suporte Y Explore mais ~ Contate-Nos Console Tópicos de IA ✓ IBM Watson Studio Crie, execute e gerencie modelos de IA. Prepare dados e construa modelos em qualquer lugar usando código-fonte aberto ou modelagem visual. Preveja e otimize seus resultados. Marque uma consulta Faça um rápido tour pelo IBM Watson® Studio e veja por que o AutoAI é um recurso Experimente AutoAI → Comece agora Construa IA com IBM Watson Studio, implemente em qualquer nuvem Vamos conversar

Figura 9 - Interface da plataforma IBM Watson Studio.

Fonte: IBM (2020).

4.2. Processamento.

Para o processamento do programa foram estabelecidas a relação de quantidade de amostra para realizar o treinamento e a validação, onde foram determinadas de forma aleatória, para não ocorrer o risco de escolher observações específicas, onde 75% das

amostras foram designadas para treinamento e 25% foram para a validação. A Figura 10 a seguir mostra a predeterminação de alguns parâmetros iniciais

Coluna da predição Origem de dados Configurações do experimento dados-entrada-watson-v2.csv @ Orçamento REAL (DEC) Configurações de origem de dados Predição Tempo de execução É possível opcionalmente ajustar a porcentagem de sua origem de dados a ser usada para criar, otimizar e validar pipelines. Recomendado somente para grandes conjuntos de dados para evitar a diminuição da qualidade dos pipelines. Divisão de dados de treinamento: 85% — 3 dobras Divisão de dados de validação: 15% Selecione as colunas a incluir 26 / 27 Selecione as colunas com os dados que suportam a coluna de predição. ☐ Nome da Coluna Tipo □ ID Integer Orcamento REAL Decimal Cancelar

Figura 10 - Fluxograma de desenvolvimento da RNA.

Fonte: IBM (2020).

Desse modo, para a concepção, treinamento e validação da RNA, a seguir mostra a estrutura inicial do programa antes de iniciar os testes, como mostra a Figura 11, que serviram como calibragem para o modelo, iniciando-se com a inserção das variáveis de entrada (independentes), como ilustra a Figura 12, variável de saída (dependente) e dos critérios de cálculos para a rede neural, baseando-se na maior precisão nas series de tentativas realizadas, até encontrar o melhor resultado para funcionamento da rede neural, sendo o critério adotado da soma das diferenças mínimas encontradas entre o orçamento real e o orçamento estimado pela RNA. O peso das variáveis de ativação possuem como variação entre -100.000,00 e +100.000,00.

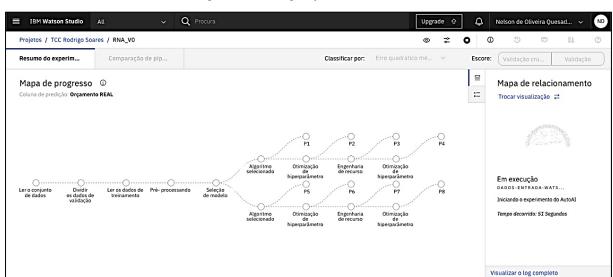
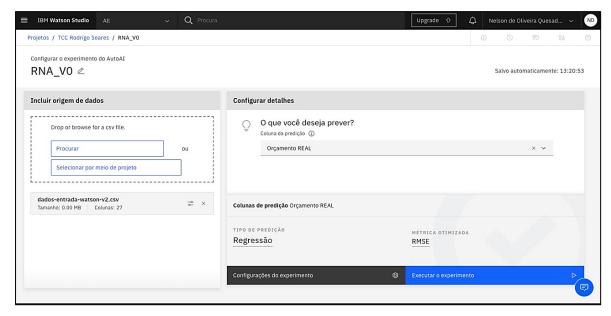


Figura 11 - Configuração inicial da RNA.

Fonte: IBM (2020).

Figura 12 - Configuração das variáveis de entrada.



Fonte: IBM (2020).

Diante esse cenário, a organização dos dados aplicados ao algoritmo podem ser explicados primeiramente pelo cálculo dos pesos atribuídos a cada variáveis, onde o programa realizou uma série de treinamentos, sendo realizados 8 ciclos testes, como mostra a estrutura do programa final após ter executado os testes na Figura 13.

Foi encontrado o melhor resultado para agregar os pesos as determinadas variáveis, sendo portanto, quando os pesos forem negativos, demonstram-se uma relação inversamente proporcional entre os dados de entrada e de saída, ou seja, quanto maior forem os dados de entradas, menor será o os dados de saídas, e quando os pesos forem positivos, irão possuir uma relação diretamente proporcional, onde quanto maior forem os valores dos dados de entradas, maior será o valor dos dados de saídas.

Figura 13 - Fluxograma de desenvolvimento da RNA Concluído. Projetos / TCC Rodrigo Soares / RNA_VO 0 Classificar por: Erro quadrático mé... Resumo do experim... Comparação de pip... Validação cru... Validação Mapa de progresso ① Mapa de relacionamento cão: Orcamento REAL := Trocar visualização ≓ Experimento concluído 0 Tempo decorrido: 4 minutos Visualizar o log completo

Fonte: IBM (2020).

A criação da RNA no programa foi baseada em uma série de testes de algoritmos variados, sendo que cada algoritmo se comporta de formas diferentes. Com isso, a RNA procurou o melhor algoritmo adequado para o estudo, verificando encontrar a melhor forma de comportamento. Portanto, dentre os ciclos de testes, a RNA em estudo realizou 8 tentativas, onde foi identificada que a 8ª tentativa resultou em um modelo mais eficiente em comparação aos outros modelo testados. Evidenciando que o algoritmo mais adequado para o estudo foi do tipo ondulado, demonstrando a RNA mais eficiente entre os 8 modelos de RNA testados pelo programa, o escolhido foi o modelo identificado com uma estrela ao lado da RNA, como explana a Figura 14 a seguir.

Placar de pipeline Algoritmo RMSE (Otimizado) Melhorias Nome Tempo de construção Ondulado 2668431.045 HPO-1 FE HPO-2 00:00:17 ***** 1 Pipeline 8 Regressão linear 2926290.910 HPO-1 FE 2 Pipeline 3 00:00:35 3 Pipeline 4 Regressão linear 2926290.910 HPO-1 FE HPO-2 00:00:02 4 Ondulado 3281500.726 HPO-1 FE Pipeline 7 00:00:40 Ondulado HP0-1 5 4461588.754 Pipeline 6 00:00:04 Pipeline 2 Regressão linear 5510357.899 HP0-1 00:00:03 7 Regressão linear 7100638.358 00:00:01 Pipeline 1 Nenhum Ondulado 48334597.594 8 Pipeline 5 Nenhum 00:00:01

Figura 14 - Escolha do modelo de RNA.

Fonte: IBM (2020).

Na sequência, o programa apresentou as variáveis de ativação, onde essa variável de ativação, foi determinada para verificar a utilização das variáveis nos treinamentos e validações, resultando que a rede neural e o programa conseguiu utilizar todas as variáveis no treinamento, sendo essas variáveis de ativação um dado aproveitado para compor o valor de ativação de cada variável do estudo, onde o valor de ativação é um resultado intrínseco de cada variável levantada, referente a uma relação entre os pesos e as variáveis de ativação, sendo utilizada para o produto final dos dados de saídas.

Com os resultados de todas as saídas das 26 variáveis analisadas pela RNA de um determinado caso, onde o somatório desses valores de saídas resulta na estimativa de custo de

orçamento final realizada pela RNA em estudo, baseando-se nas informações e variáveis levantadas preliminarmente.

O critério adotado das somas das diferenças mínimas, significa a relação que a RNA buscou para reduzir ao máximo a margem de erro na estimativa do orçamento, para resultar diferença entre a estimativa do orçamento reproduzido pela RNA e o orçamento real das informações levantadas. No treinamento o programa conseguiu utilizar todas as informações levantadas de cada caso e demonstrar o resultado final da estimativa de cada caso. Sem nenhum tipo de erro.

Para a validação dos dados levantados, foram verificados 25% do total de amostras, sendo 3 obras a serem validadas na RNA, sendo que essas obras tinham características aleatoriamente diferentes, resultando em dados satisfatórios para análise final. Após a RNA ser finalizada, os dados foram exportados para plataforma de criação de planilhas eletrônicas Microsoft Excel para ser realizada as análises.

4.3. Análise.

É pragmático salientar que para analisar os resultados, os parâmetros de cálculos utilizados para reproduzir esses resultados foram a diferença absoluta, média aritmética, média ponderada e gráfico de dispersão e correlação, onde foi incorporado os resultados dos RNA proveniente do programa, e com isso foram realizadas as devidas análises.

Primeiramente, nos resultados do treinamento do programa relacionado à RNA, foi calculado a diferença absoluta entre a estimativa de orçamento calculada pela RNA e o valor do orçamento real de cada amostra levantada, onde essa diferença absoluta dividida pelo valor da estimativa do orçamento calculado pela RNA de cada amostra, demonstra o resultado do cálculo da porcentagem de erro de estimativa proveniente da RNA, para as 9 amostras aleatórias do treinamento. Como demonstra o quadro 9ª seguir.

Quadro 9 - Diferenças relativas e absolutas.

Orçamento Real	Diferença (REL)	Diferença (ABS)	Orçamento Estimativa
R\$ 19.984.786,86	8,61%	R\$ 1.883.990,17	R\$ 21.868.777,03
R\$ 23.753.858,96	0,00%	R\$ 0,03	R\$ 23.753.858,99
R\$ 14.346.734,56	0,00%	R\$ 45,64	R\$ 14.346.780,20
R\$ 15.790.796,35	7,91%	R\$ 1.157.501,75	R\$ 14.663.294,60
R\$ 25.924.484,96	3,29%	R\$ 826.314,27	R\$ 25.098.170,69

R\$ 12.500.000,00	0,00%	R\$ 25,57	R\$ 12.500.025,57
R\$ 5.210.774,89	2,59%	R\$ 131.782,25	R\$ 5.078.992,64
R\$ 8.758.756,82	0,00%	R\$ 128,84	R\$ 8.758.627,98
R\$ 5.345.698,32	0,00%	R\$ 3,25	R\$ 5.345.701,57
Somatório das Diferenças		3.999.791,77	
Média Aritmética	2,49%		
Média Ponderada	3,01%		

Como segue o quadro acima, de acordo com os resultados dos dados dos orçamentos e dos erros de estimativa com a aplicação da RNA em estudo, foi levado em consideração o critério do somatório das diferenças absolutas mínimas e também foi calculada a média aritmética do erro ou a diferença relativa, onde demonstrou um resultado bom, sendo ainda uma análise prévia. Também pode ser evidenciado o valor da média ponderada, que para a análise desses resultados com variação entre os valores dos orçamentos, é mais confiável realizar esse tipo de média, pelo fato de possuir uma grande variação de valores entre o orçamento real e a diferença relativa.

Subsequentemente, a RNA mostrou um resultado satisfatório relacionado a precisão entre faixa de valores dos orçamentos, e com o auxílio de recursos em probabilidade e estatística, foi utilizado para análise dos resultados uma ferramenta gráfica de dispersão e correlação com o coeficiente de determinação (R²) como ajuste, que leva em consideração o orçamento real e a diferença relativa.

Onde o gráfico de dispersão é uma ferramenta que estuda a relação entre duas variáveis, que são representadas em um gráfico. Sendo apresentada utilizando coordenadas cartesianas para exibir valores de um conjunto de dados, e o coeficiente de determinação, é uma medida de ajuste de um modelo linear variando de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 0, as variáveis não dependem linearmente uma da outra, e quando elas foram próximas de 1, significa que as variáveis possuem uma dependência entre si.

O coeficiente de determinação (R²) resultou em um valor muito próximo de zero, como demostra o Gráfico 1, significando que não existe nenhuma correlação entre o orçamento real e a diferença relativa ou erro de estimativa, ou seja, a RNA funciona tanto para orçamentos pequenos quanto para orçamentos grandes.

10,00% 8,00% 6,00% 4,00% 2,00% R\$
R\$5.000.000,00 R\$10.000.000,00 R\$15.000.000,00 R\$20.000.000,00 R\$30.000.000,00

Gráfico 1 - Coeficiente de dispersão e correlação.

Com os resultados satisfatórios do treinamento, partiu-se para a validação do modelo, onde foram testadas 25% da amostra total, resultando em 3 obras, onde aplicando o raciocínio positivo da análise do treinamento, verificou-se que a RNA consegui atingir o objetivo do trabalho, onde a RNA evidenciou que a média dos erros é menor que os erros resultantes da aplicação dos modelos de estimativas atuais e tradicionais adotadas. A RNA demonstrou uma estimativa de erro de 14,46%, que segundo Ibraop (2012c), define uma margem de erro de ±30% para estimativa de custos para projetos de estudos preliminares utilizando metódos atuais e tradicionais.

Ouadro 10 - Estimativa de erro da RNA.

Orçamento Real	Diferença (REL)	Diferença (ABS)	Orçamento Estimativa
R\$ 47.952.235,77	0,0003%	R\$ 124,73	R\$ 47.952.360,50
R\$ 660.000,00	0,0021%	R\$ 13,86	R\$ 660.013,86
R\$ 2,405.015,81	43,38%	R\$ 1.842.974,99	R\$ 4.247.990,80
Média Aritmética	14,46%		
Média Ponderada		2,05%	

Fonte: Autor.

Para análise dos resultados do presente estudo, no decorrer do treinamento foi evidenciado uma preocupação em relação a importância de cada variável, pois inicialmente ainda não se dá para informar quais são as variáveis mais e menos importantes, pois os valores ainda não estão normatizados, sendo precisos ser realizados mais treinamentos com mais amostras.

Analisando os resultados da validação do quadro 10 anteriormente, percebe-se que foi obtido um resultado de erro para um orçamento com valor muito acima dos outros calculados de 45,38%, mostrando que a RNA não e tão eficaz assim, mesmo assim devido a média do erro ter resultado em um valor muito baixo mais em relação aos valores pontuais observados, sendo que essa variabilidade pode indicar que o modelo ainda não está pronto para aplicação, mesmo assim mostra resultados positivos. Com isso esse erro pode ser devido a necessidade de realizar mais treinamentos com mais amostras e também pela evidência da falta da normalização dos pesos das variáveis, sendo que isso só consegue-se com mais testes e treinamentos.

E importante considerar, que é preciso melhorar a RNA, calibrando as equações de ativação dos neurônios e aumentar os dados de entrada, ou seja, mais amostras, para resultar em uma maior eficácia do modelo proposto, reduzindo cada vez mais a taxa de erro da RNA.

Nesse sentido, com a validação dos dados foi possível avaliar alguns pontos que requerem atenção, mas que inicialmente, mesmo assim foi possível conseguir um resultados positivos da RNA, demonstrando que o modelo em estudo tem potencial, como mostra por exemplo que na variável taxa administrativa do construtor por ter uma relação diretamente proporcional mostrou que quanto menor a taxa administrativa do construtor menor será o orçamento.

Para o índice de aproveitamento a relação é de forma diretamente proporcional, onde quanto maior for o índice de aproveitamento da região onde ser implementado o projeto, maior será o orçamento, como explana no quadro 11 a seguir.

Quadro 11 - Taxa Administrativa do construtor e Índice de Aproveitamento.

Validação	Taxa Adm. Construtor (%)	Índice de Aproveitamento
Entradas	0	2,5
Saídas	0	609
Entradas	15,00	1
Saídas	- 44.461,10	144
Entradas	26,00	2
Saídas	- 77.065,09	487
Pesos	- 29.641,00	244

Diante esse cenário, uma análise da utilização dos dados de entrada pode ser realizada em relação as variáveis levantadas, tanto no treinamento como na validação, onde os dados de entradas pelo fato de possuírem insuficiência no aprimoramento relacionado a normalização, demonstrou como se os dados de entradas fossem calculados com pesos sem os devidos tipos de informações contidos no tipo de amostras levantadas, deixando as devidas características ocultas, como pode ser citado as variáveis: Fachadas, tipologia da construção, tipo de fundação e a localização (IDH). No quadro 12 e 13 expõe a verificação do treinamento e quadro 14 exibe o contexto na validação dos dados exemplificando melhor consecutivamente as devidas análises das referidas variáveis tanto no treinamento como na validação das amostras.

Quadro 12 - Análise de variáveis na fase de treinamento - Parte 1.

Treinamento	Fachada	Tipologia da Construção	Tipo de Fundação	Localização IDH)
	1	6	2	0,45
	2	3	2	0,57
	1	6	2	0,38
	1	6	2	0,45
	2	6	2	0,29

Fonte: Autor.

Quadro 13 – Análise de variáveis na fase de treinamento – Parte 2.

	1	6	0	0,45
	1	8	1	0,37
	1	8	1	0,17
	1	8	1	0,22
Pesos	1.296	12.963	299	- 450

Quadro 14 - Análise de variáveis na fase de validação.

Validação	Fachada	Tipologia da Construção	Tipo de Fundação	Localização IDH)
	2	5	2	0,87
	1	3	1	0,606
	1	8	1	0,87

	Pesos	1.296	12.963	299	- 450
- 1					

Como pode-se observar nas análises realizadas com auxílio de ferramentas computacionais como Microsoft Excel e o IBM *Watson Studio*, foram apresentadas as explicações da utilização e da implementação dos programas, sendo estes programas verificados em conjunto dos seus respectivos resultados, onde foram exemplificados e explanado de forma prática por meio de artifícios gráficos.

Todavia, todas as evidências resultantes dos testes do objeto de estudo, sejam elas positivas e negativas foram demonstradas, servindo para informar a real situação da análise dos dados utilizados no estudo, tornando-se um resultado satisfatório relacionado a utilização de RNA em comparação aos métodos de estimativas preliminares adotados e aplicados atualmente.

Ainda assim, desde o levantamento das variáveis e das informações para entrada no programa, passando pelo processamento dos dados e finalmente a análise de todo o processo, a RNA aplicada a estimativas preliminares de custos, mostrou-se uma eficiência em todos esses processos, pela facilidade de como manusear as ferramentas e o acesso as informações técnicas, aliando a um resultado seguro.

5. CONCLUSÃO

Devido as dificuldades encontradas atualmente relacionada a predição de estimativas de custos na engenharia civil mais especificamente na engenharia de custos, onde os erros nesta fase tornaram-se crucial para o prosseguimento e desenvolvimento de um projeto, onde por falta de uma precisão nesse processo, acaba que prejudicando toda uma cadeia envolvida, resultando em sérios problemas financeiros.

Como já dito, com todo esse panorama do mercado imobiliário relacionando as negociações realizadas em Fortaleza-ce, surge a oportunidade de suprir um problema presentemente relacionado aos erros elevados de estimativas preliminares de custos baseadas em metodologia tradicionais aplicadas por algumas empresas e profissionais onde esses métodos adotados resultam em problemas de saúde financeira. Onde essa problemática partiu da premissa que existem problemas relacionados a falta de informações para realizar um orçamento prévio com eficiência, onde a margem de erro possa ser baixa, no momento de apresentação ou negociação de um projeto ou imóvel.

Corroborando com esse cenário exposto anteriormente, o presente estudo demonstra uma importante relevância primeiramente para o ramo de engenharia de custos, para os profissionais da área de engenharia e para o mercado da construção civil, onde ajudará a evoluir positivamente de forma a melhora um problema existente utilizando tecnologia.

Porém, para solucionar o problema exposto anteriormente, foi apresentado a rede neural a artificial onde é uma tecnologia de inteligência artificial que busca solucionar problemas com auxílio na alta capacidade de processamento computacional, sendo este artificio aplicado para solucionar o problema em questão, sendo que o objetivo principal do trabalho é o desenvolvimento especifico de uma RNA capaz de solucionar o problema de estimativas preliminares de custos vivenciada atualmente.

Contudo, com o desenvolvimento e aplicação da RNA voltada para solucionar o problema de estimativas preliminares de custos, surgiram os resultados, onde a RNA apresentou resultados satisfatórios, onde o modelo desenvolvido, conseguiu responder aos objetivos principais, que era reduzir a margem de erro de estimativas preliminares com poucas informações prévias, demonstrando um modelo com um grande potencial evolutivo.

Onde o modelo resultou em um erro de estimativa de 14,46% muito abaixo do erro cometido utilizando os modelos de estimativas tradicionais atualmente adotados, verificando que o modelo de RNA desenvolvida funcionou eficientemente para a

problemática levantada, tornando-se uma ferramenta inovadora, sem precedentes que pode revolucionar a forma como calcula-se estimativas preliminares de custos.

Para esse resultado foi necessário realizar testes e validações, onde originou algumas considerações e análises relacionadas a ferramenta utilizada devem ser informadas de modo a proporcionar uma melhor eficiência e evolução da aplicação do presente estudo. Primeiramente foi observado que, deve-se normalizar as variáveis levantadas, afim de calibrar de forma a verificar as devidas características as variáveis, podendo ser atribuído pesos de forma mais eficaz, resultando em respostas cada vez mais eficientes.

A relação entre alguns dados de saídas do programa e os seus respectivos pesos atribuídos mostraram uma relação que precisa ser melhorada com mais treinamentos e com mais amostras, pois quanto mais amostras, a RNA consegue dar resultados cada vez mais eficazes e precisos. Outra observação importante é que devido ter sido analisado uma amostra pequena, na validação evidenciou um erro elevado de 43,38% de um orçamento, requerendo cuidados para análises de amostras pequenas.

Com os resultados obtidos e o panorama em questão explanado, é possível afirmar que o método aparentemente conseguiu ser mais preciso que os outros métodos tradicionais aplicado no mercado, precisando ser ponderado as observações realizadas referentes aos treinamentos e validações do modelo.

Portanto, baseado no trabalho em estudo, pode ser verificadas futuramente melhorias no trabalho, buscando treinar e validar uma maior quantidade de amostras, verificar a implementação de mais variáveis, testando para ver se o modelo resultará em informações mais precisas, e por última sugestão, seria testar esses modelo em outros locais ou cidades, para validar cada vez mais o modelo e verificar a sua eficácia.

REFERÊNCIAS

AACE INTERNATIONAL RECOMMENDED PRACTICE NO. 18R-97. Cost Estimate Classification System - As Applied in Engineering, Procurement, and Construction for the Process Industries. [S.l.]. 2016.

ABENSUR, O. Um modelo multiobjetivo de otimização aplicado ao processo de orçamento de capital. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 19, n. 4, p. 747-758, Dezembro 2012.

ALKMIM, P. A. R. APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DA LÓGICA DIFUSA NA **DEFINIÇÃO DE SISTEMAS ESTRUTURAIS DE EDIFÍCIOS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto - Escola de Minas. Ouro Preto, p. 129. 2007.

ALQAHTANI, A.; WHYTE, A. Estimation of life-cycle costs of buildings: regression vs artificial neural network. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 6, n. 1, p. 30-43, February 2016.

AN, S.-H.; KIM, G.-H.; KANG, K.-I. A case-based reasoning cost estimating model using experience by. **Building and Environment**, v. 42, n. 7, p. 2573-2579, Julho 2007.

ARNAUD, A. D. S.; FIGUEIREDO, M. D. ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA: ESTUDO DE CASO DE UM PROJETO DE FLOATING CRANE PARA O PORTO ORGANIZADO DE VILA DO CONDE-PA. **Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão**, Paranaguá, v. 4, n. 6, p. 201-01, 201-25, Dezembro 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14653-4**: Avaliação de bens Parte 4: Empreendimentos. [S.l.]. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12721**: Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícos. [S.l.]. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto ABNT NBR 16633-1**: Elaboração de orçamentos e formação de preços de empreendimentos de infraestrutura — Parte 1: Terminologia. [S.l.]. 2017.

AVILA, A. V.; LIBRELOTTO, L. I.; LOPES, O. C. **Orçamento de obras**. Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL. Florianópolis, p. 66. 2003.

BARROS, L. B. Aplicação de redes neurais artificiais no contexto de estimativa de custos de construção de rodovias. Dissertação (Mestrado em estrututras e construção civil) - Universidade de Brasília. Brasília, p. 106. 2019.

BENEVIDES,. Lógica Fuzzy. **Programa de Engenharia de Sistemas e Computação**, 2017. Disponivel em: https://www.cos.ufrj.br/~mario/logica/logicaFuzzy.pdf>. Acesso em: 17 Abril 2020.

- BERTONCELLO, A. G. et al. LOOP ECONÔMICO: MERCADO IMOBILIÁRIO INFLUÊNCIA E É INFLUENCIADO PELAS CONDIÇÕES SOCIOECONÔMICAS. **Colloquium Socialis**, v. 3, n. 3, p. 35-44, Novembro 2019.
- BIOLO, L. V. Estimativa da Necessidade de Capital para Execução Empreendimentos Multi-Familiares Verticais em Balneário-CamboriÚ-SC. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 174. 2002.
- BOCANEGRA, C. W. R. **Procedimentos para tornar mais efetivo o uso das redes neurais artificiais em planejamento de transportes**. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) Escola de Engenharia de São Carlos/ Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 108. 2002.
- BORBA, A.; DAL RI MURCIA, F.; DUARTE SOUTO MAIOR, C. Fuzzy ABC: Modelando a Incerteza na Alocação dos Custos Ambientais. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, São Paulo, v. 9, n. 24, p. 60-74, Maio-Agosto 2007.
- BORBA, N. M. D. F. ESTUDO DE CASO: COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE PROJETOS ESTRUTURAIS E ANÁLISE DO SEU IMPACTO NO ORÇAMENTO FINAL DA OBRA. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) Instituto Federal Goiano. Rio Verde, p. 44. 2020.
- BRAGA, A. D. P.; CARVALHO, A. C. P. D. L. F.; LUDERMIR, T. B. **Fundamentos de redes neurais artificiais**. 11^a Escola de Computação/Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 246. 1998.
- BRASIL. **Lei n. 4.591, de 16 de dezembro de 1964:** Dispõe sôbre o condomínio em edificações e as incorporações imobiliárias., 1964. Disponivel em: http://www.planalto.gov.br/Ccivil_03/LEIS/L4591.htm. Acesso em: 15 Abril 2020.
- CABRAL, B. Construção civil espera crescer 3% e vender R\$ 2 bi em imóveis no CE. **Diário do Nordeste**, 2020. Disponivel em:
- https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/editorias/negocios/construcao-civil-espera-crescer-3-e-vender-r-2-bi-em-imoveis-no-ce-1.2206579. Acesso em: 09 Março 2020.
- CBIC. Indicadores Imobiliários Nacionais. **Cbic Dados**, 2020. Disponivel em: http://www.cbicdados.com.br/media/anexos/Mercado_Imobili%C3%A1rio_Nacional___ano_2019.pdf>. Acesso em: 9 Março 2020.
- CHRISTMANN, R. A. **Análise de Investimentos Um sistema de Apoio à Decisão**. Monografia (Bacharel em Administração) Centro Univesitário UNIVATES. Lajeado, p. 87. 2009.
- CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE. Constructability: a primer. **CII publication**, Austin, n. 2, p. 3-1, 1987.
- DACOREGIO, F. A. **ESTIMATIVA PRELIMINAR DE CUSTOS DE OBRAS UTILIZANDO REDES NEURAIS ARTIFICIAIS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 276. 2017.

- DANTAS, A. P. 2019 fecha com VGV de R\$ 2 bilhões. **O otimista**, 2020. Disponivel em: https://www.ootimista.com.br/economia/2019-fecha-com-vgv-de-r-2-bilhoes/. Acesso em: 13 Março 2020.
- DE CASTRO, L. N.; VON ZUBEN, F. J. **Redes Neurais Artificiais**. DCA/FEEC/Unicamp. Porto Alegre. 2001.
- DIAS, F. ANÁLISE DA PRODUTIVIDADE NA CONSTRUÇÃO DE UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR NO MUNICÍPIO DE TRINDADE-GO. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) Centro Universitário de Goiás Uni Anhanguera. Goiânia, p. 26. 2019.
- DIAS, P. R. V. Engenharia de Custos- Estimativa de Custo de Obras e Serviços de Engenharia. 3. ed. Rio deJaneiro: IBEC, 2015.
- FERNANDES, P. M. D. et al. UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O ORÇAMENTO POR COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO E O ORÇAMENTO POR ESTIMATIVA UTILIZANDO O ÍNDICE DA SINDUSCON CUB/M². **Pensar Engenharia**, v. 5, n. 2, p. 9, Julho 2017.
- FILHO, M. C. D. S.; PIZZOLATO, D. A Viabilidade Econômica de Empreendimentos no Setor da Construção Civil: Estudo de Caso dos Revestimentos Cerâmicos. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 1, p. 20-41, Fevereiro 2011.
- FLECK, L. et al. Redes Neurais Artificiais: Princípios Básicos. **Revista Eletrônica** Científica Inovação e Tecnologia, Medianeira, v. 1, n. 13, p. 47-57, Março 2016.
- FONSECA, J. J. S. D. **Metodologia da pesquisa científica Apostila**. UECE. Fortaleza. 2002.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. 1. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2009.
- GIL, Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GIL, A. C. Como elaborar Projetos de Pesquisa.4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- GODOY,. Introdução à pesquisa qualitativa e suaspossibilidades. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 57-63, mar/abr 1995.
- GOMES, D. P. Uma Análise Comparativa entre Estudo de Viabilidade Estática e Dinâmica para Diferentes Produtos Imobiliários. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 110. 2013.
- GONÇALVES, C. M. M. **Método para Gestão do Custo na Construção no Processo de Projetos de Edifícios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 182. 2011.
- GONZÁLEZ, M. A.. **Noções de Orçamento e Planejamento de Obras**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, p. 49. 2008.

- GÜNAYDIN, H. M.; DOGAN, S. Z. A neural network approach for early cost estimation of structural systems of buildings. **International Journal of Project Management**, Turkey, v. 22, n. 7, p. 595-602, April 2004.
- HECHT-NIELSEN, R. Neurocomputing. Addison-Wesley. San Diego, p. 433. 1989. HOPFIELD, J. J. Neural networks and physical systems. **Proceedings of the National Academy of Science of the USA**, v. 79, n. 8, p. 2554-2558, 1982.
- HOSNI, A. S.; CAVAIGNAC, A. L. D. O.; MACEDO, A. N. ANÁLISE DE VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC) EM UM MUNICÍPIO DE MÉDIO PORTE. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 4, p. 122-134, Setembro 2019.
- IBM. International business machines corporation watson tudio. **IBM**, 2020. Disponivel em: https://www.ibm.com/cloud/watson-studio. Acesso em: 21 Novembro 2020.
- IBRAOP. **Precisão do orçamento de obras públicas**. Orientação técnica do IBRAO- OT IBR 004/2012. [S.1.]. 2012.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE CUSTOS. Conheça 6 metodologias de estimativa de custos para engenharia. **IBEC Ensino**, 2018. Disponivel em: https://ibecensino.org.br/blog/engenharia/conheca-6-metodologias-de-estimativa-de-custos-para-engenharia/. Acesso em: 18 Março 2020.
- JI, S. H.; PARK, M.; LEE, H. S. Cost estimation model for building projects using case-based reasoning. Canadian Journal of Civil Engineering. Coreia do Sul, v. 38, p. 570–581. 2011.
- JUSZCZYK, ; LEVNIAK, A.; ZIMA, K. ANN Based Approach for Estimation of Construction Costs of. **Hindawi**, Cracóvia, v. 18, p. 11, Março 2018.
- JUSZCZYK, M. Application of Committees of Neural Networks for Conceptual Cost Estimation of Residential Buildings. **AIP Conference Proceedings**, Cracóvia, v. 1648, p. 7, 1 Maio 2015.
- KATO, C. S. **Métodos para estimar custos diretos da execução de edifícios: Aplicação à alvenaria estrutural**. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 176. 2013.
- KIM, G. H.; AN, S. H.; KANG, K. I. Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks, and case-based reasoning. Building and Environment. Coreia do Sul, v.39, p. 1235 1242. 2004.
- KIM, H.; SEO, Y. C.; HYUN, T. A hybrid conceptual cost estimating model for large building projects. **Automation in Construction**, v. 25, p. 72-81, Agosto 2012.
- KIM, S.; SHIM, J. H. Combining case-based reasoning with genetic algorithm optimization for preliminary cost estimation in construction industry. Canadian Journal of Civil Engineering. Coreia do Sul, v. 41, p. 65–73. 2013.

- KINNEAR, C.; TAYLOR, R. **Marketing research:** an applied approach. New York: McGraw-Hill, 1987.
- KOO, et al. A CBR-based hybrid model for predicting a construction duration and cost based on project characteristics in multi-family housing projects. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 37, n. 5, p. 739-752, Maio 2010.
- KOVÁCS, Z. L. Redes Neurais Artificiais; Fundamentos e Aplicações; Um Texto Básico. 4. ed. São Paulo: Livraria da Fisíca, 2006.
- KRIPKA, R. M.; SCHELLER, ; BONOTTO, D. L. Pesquisa Documental: considerações sobre conceitose característicasna Pesquisa Qualitativa. **Atas Investigação Qualitativa na Educação**, v. 2, p. 243-247, Julho 2015.
- LI, X.; YOU, Y. Highway construction cost estimation based on improved BP neural network model, v. 7, p. 236-244, 2012.
- LIMMER, V. C. **Planejamento, orçamentação e controle de projetos e obras**. Rio de Janeiro: LTC, 2015. 223 p.
- LOESCH, C.; SARI, S. T. Redes Neurais Artificiais: fundamentos e modelos. FURB. Blumenau. 1996.
- LOUZADA, R. V. Elaboração de Orçamentos na Construção Civil: Considerações Sobre a Contribuição do Cronograma Executivo de uma Obra na Definição de seus Custos Diretos e Indiretos. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR. Pato Branco, p. 88. 2018.
- LUCENTE, S. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DE UM EMPREENDIMENTO IMOBILIÁRIO COMERCIAL: STREET MALL. Monografia (Bacharel em Engenharia de Produção) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 104. 2016.
- MALHOTRA, N. K. **Marketing research:** an applied orientation. New Jersey: Prentice-Hall, 1993.
- MARTINELLI, F. B. **FUNDAMENTOS DE PROJETOS**. 1. ed. Curitiba: IESDE Brasil S.A, 2009.
- MASCARÓ, J. L. **O custo das decisões arquitetônicas Nova versão**. 2. ed. Porto Alegre: SAGRA LUZZATTO, v. 1, 1998. 180 p.
- MATOS, F. C. D. Gerenciamento de custos em projetos de incorporação de revendas por parte de uma multinacional no ramo de bebidas. Monografia (Especialista em Gerenciamento de Projetos) Fundação Getulio Vargas FGV. Rio de Janeiro, p. 46. 2017.
- MATTOS, D. Como preparar orçamentos de obras. 1. ed. São Paulo: Pini, 2006.
- MCCULLOCH, W. S.; PITTS, W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. University of Illinois, College of Medicine, Department of Psychiatry at the Illinois

- Neuropsychiatric Institute, and The University of ChicagoBulletin of Mathematical Biophysics. [S.l.], p. 115-133. 1943.
- MEDEIROS, J. S. D. **Base de dados geográficos e redes neurais artificiais: tecnologias de apoio à gestão do território.** Tese (Doutor em Geografia Fisíca) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas/ Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 236. 1999.
- MILION, R. N. **Método para prognóstico do consumo de materiais em instalações prediais elétricas utilizando sistemas inteligentes**. Dissertação, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, p. 182. 2014.
- MINSKY, M.: PAPERT, S. **Perceptrons.** MIT Press. Cambridge, MA. 1969. NUNES, P. Análise de viabilidade. **knoow**, 2015. Disponivel em: https://knoow.net/cienceconempr/gestao/analise-de-viabilidade/>. Acesso em: 15 Março 2020.
- OLIVEIRA, ; OLIVEIRA, E. A. D. A. Q. O PAPEL DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA ORGANIZAÇÃO DO ESPAÇO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **The 4th International Congress on University-Industry Cooperation**, 2012. Disponivel em: https://www.unitau.br/unindu/artigos/pdf570.pdf>. Acesso em: 04 Abril 2020.
- OLIVEIRA, G. O. **Análise da Viabilidade Financeira de um Empreendimento do Mercado Imobiliário: Um estudo de caso**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) UFPB / Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p. 43. 2018.
- OTERO, J. A. ANÁLISE PARAMÉTRICA DE DADOS ORÇAMENTÁRIOS PARA ESTIMATIVA DE CUSTOS NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS: Estudo de Caso voltado para a Questão da Variabilidade. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 214. 2000.
- PARISOTTO, J. A. ANÁLISE DE ESTIMATIVAS PARAMÉTRICAS PARA FORMULAR UM MODELO DE QUANTIFICAÇÃO DE SERVIÇOS, CONSUMO DE MÃO DE-OBRA E CUSTOS DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS: Estudo de Caso para uma Empresa Construtora. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Florianóplis, p. 121. 2003.
- PERES, H. R. Análise de Tabelas Orçamentárias em uma Obra de Reforma Residencial. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) Instituto Federal Goiano. Rio Verde, p. 52. 2020.
- PETROUTSATOU, K. et al. Early Cost Estimating of Road Tunnel Construction Using Neural Networks. Asce Grécia, p. 679-687. 2012.
- PIMENTEL, S. Financiamento imobiliário no Ceará cresce 7% em 2019. **O Povo**, 2020. Disponivel em: https://mais.opovo.com.br/jornal/economia/2020/02/01/financiamento-imobiliario-no-ceara-cresce-7--em-2019.html. Acesso em: 11 Março 2020.
- PMBOK. A Guide to the Project Management Body of Knowledge. Project Management Institute. [S.l.]. 2017.

PMI. **Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos**. Guia PMBOK 5a. Ed. - EUA: Project Management Institute. [S.l.], p. 595. 2013.

RAISER, G. A. COMPARATIVO DE CUSTOS ORÇADOS X ESTIMADOS PELO CUB EM UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) - UFSC/ Universidade Federal de Santa Catariana. Florianópolis, p. 74. 2015.

RAUBER, T. W. **Redes Neurais Artificiais**. Universidade Federal do Espírito Santo. Espírito Santos, p. 28. 2005.

RÉVILLION, A. S. P. A Utilização de Pesquisas Exploratórias na Área de Marketing. **RIMAR - Revista Interdisciplinar de Marketing**, v. 2, n. 2, p. 27-37, Jul/Dez 2003.

RIBEIRO, et al. Análise econômica da implementação de projetos florestais para a geração de créditos de carbono em propriedades rurais na Mata Atlântica. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 89, p. 009-019, Março 2011.

RICHARDSON, R. J. et al. **Pesquisa social:** métodos e técnicas. 3. ed. rev.ampl. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

ROSENBLATT, F. The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. **Psychological Review**, v. 65, n. 6, p. 386-408, 1958.

RUMELHART, D. E.; HINTON, G. E.; WILLIAMS, R. J. Learning internal representations by error propagation. MIT Press. Cambridge, MA, p. 318-362. 1986.

SABBATINI, R. M. E. Neurônios e Sinapses: A História de Sua Descoberta. **Cérebro & Mente – Revista eletrônica de divulgação científicia em neurociência**, 2003.

SAWALHI, I. E. Modeling the Parametric Construction Project Cost Estimate using Fuzzy Logic. **International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering**, v. 2, n. 4, p. 8, Abril 2012.

SEGOBIA, P.; MINOZZO, M. Conteúdo orçamentário em cursos de engenharia civil: análise de disciplinas de orçamentos nos cursos de engenahria civil na cidade de Rio Branco / AC. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 10, p. 20856-20866, Outubro 2019.

SILVA, T. G. D. **Análise de Viabilidade Econômica de um Projeto Rodoviário**. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Ouro Preto. João Monlevade, p. 53. 2016.

SILVEIRA, D. T.; CÓRDOVA, F. P. A pesquisa científica in: GERHARDT, T.E.; SILVEIRA, D.T. **Métodos de Pesquisa**, Porto Alegre: UFRGS, p. 31-42, 2009.

SOUZA, A.; CLEMENTE, A. **Decisãoes Financeiras e Análise de Investimentos:** técnicas e aplicações. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2004.

SPÖRL, C.; LUCHIARI, A.; CASTRO, G. Aplicação de Redes Neurais Artificiais na Construção de Modelos de Fragilidade Ambiental. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, v. 21, p. 113-135, Julho 2011.

- STROHHECKER, M. ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM EMPREENDIMENTO IMOBILIÁRIO. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO. Ijuí, p. 62. 2010.
- TAVES, G. G. **Engenharia de custos aplicada à construção civil.** Projeto de Graduação UFRJ / Escola Politécnica. Rio de Janeiro, p. 63. 2014.
- TEIXEIRA, C. A. et al. Levantamento das características de edifícios residenciais brasileiros. **Cb3e**, Florianópolis, p. 87, 2015. Disponivel em:
- http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Relatorio_TipologiasResidenciais.pdf>. Acesso em: 15 Maio 2020.
- TERESINHO, C. S.. **Formulação de Preços na Construção**. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Coimbra, p. 80. 2014.
- TRIVIÑOS, N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais:** a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 1987.
- TRUJILLO FERRARI,. **Metodologia da Pesquisa Científica**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasi, 1982.
- UNITED STATES OF AMERICA. NASA Cost Estimating Handbook Version 4.0. **Nasa**, 2015. Disponivel em:
- https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/01_CEH_Main_Body_02_27_15.pdf. Acesso em: 15 Abril 2020.
- VALLE, A. B. D. et al. **Fundamentos do gerenciamento de projetos**. 2. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2010.
- VARELA,. Construção civil no Ceará: crescimento no segundo semestre e R\$ 2 bi em imóveis. **Focus.jor**, 2020. Disponivel em: https://www.focus.jor.br/construcao-civil-no-ceara-crescimento-no-segundo-semestre-e-r-2-bi-em-imoveis/. Acesso em: 09 Março 2020.
- VIEIRA, M. M. F. A comparative study onquality management in the brazilian and the Scottish prison service. Tese [Doutorado PhD on Business Studies] Scotland, University of Edinbur. Edimburgo. 1996.
- WIDROW, B.; HOFF, M. E. **Adaptive switching circuits**. Stanford Univ Ca Stanford Electronics Labs. [S.l.]. 1960.
- XAVIER, I. **ORÇAMENTO, PLANEJAMENTO E CUSTOS DE OBRA**. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo FAU USP. São Paulo, p. 67. 2008.
- ZAGO, ; WEISE, A. ; HORNBURG,. A Importância do Estudo de Viabilidade Econômica de Projetos nas Organizações Contemporâneas. In: VI CONVIBRA Congresso Virtual Brasileiro de Administração. **Anais**, p. 1-15, 2009. Disponivel em: <a href="https://www.researchgate.net/profile/Camila_Zago3/publication/238742986_A_IMPORTANCIA_DO_ESTUDO_DE_VIABILIDADE_ECONOMICA_DE_PROJETOS_NAS_ORGANIZACOES_COMTEMPORANEAS/links/5544d42f0cf24107d397abfa/A-IMPORTANCIA-

DO-ESTUDO-DE-VIABILIDADE-ECONOMICA-DE-PROJETO>. Acesso em: 15 Março 2020.

ZANELLA, L. C. H. **Metodologia de pesquisa**. Departamento de Ciências da Administração/UFSC. Florianópolis, p. 134. 2011.

ZIMA, The use of fuzzy case-based reasoning in estimating costs in the early phase of the construction project. **AIP Conference Proceedings**, Cracóvia, v. 1648, p. 5, Abril 2015.

APÊNDICE A – Roteiro para levantamento de indicadores para estimativa preliminar de custos.

ROTEIRO PARA LEVANTAMENTO DE INDICADORES PARA ESTIMAVA PRELIMINAR DE CUSTOS.

Caro(a), bom dia. Me chamo Rodrigo Soares, sou estudante do curso de Engenharia Civil na Unichristus e estou desenvolvendo uma Rede Neural Artificial capaz de melhores estimativas de custos na indústria da construção civil. Para isso, preciso identificar quais as principais variáveis que possivelmente influenciam o custo de uma obra. Este formulário deve ser preenchido com base na sua experiência profissional, apontando quais indicadores você acredita influenciar mais os custos de uma obra. Obrigado por sua contribuição com o meu trabalho de conclusão de curso. 1. Qual a quantidade de variáveis é necessária para realizar a estimativa preliminar de custos de uma obra? Insira sua resposta 2. De acordo com indicadores levantados a seguir, marque qual(ais) desses elencados influenciam na estimativa preliminar de custos de uma obra? Se a resposta for, não é nenhum desses elencados a seguir, discorra no item outras qual(ais) informação(ões) é(são) relevante(s) para estimar preliminarmente os custos? Tipo de Ocupação Índice de Ocupação Taxa de Permeabilidade Índice de Aproveitamento Número de Unidades Habitacionais INCC (Índice Nacional da Construção Civil) Existência de Instalações Especiais (Piscina, Academia etc.)

Outras:

3. Caso sinta-se a v	ontade, deixe se	u contato abai	xo, como nome,	
telefone ou e-ma	telefone ou e-mail.			
Insira sua resposta				

$\mathbf{AP\hat{E}NDICE}\;\mathbf{B}-\;\mathbf{Roteiro}\;\mathbf{para}\;\mathbf{levantamento}\;\mathbf{de}\;\mathbf{informaç\tilde{o}es}\;\mathbf{de}\;\mathbf{orçamentos}\;\mathbf{de}\;\mathbf{obras}\;\mathbf{em}$ Fortaleza - ce.

ROTEIRO PARA LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES DE ORÇAMENTOS DE OBRAS EM FORTALEZA-CE.

Caro(a), bom dia. Me chamo Rodrigo Soares, sou estudante do curso de Engenharia
Civil na Unichristus e estou desenvolvendo uma Rede Neural Artificial capaz de
melhores estimativas de custos na indústria da construção civil. Para isso, preciso
identificar quais as principais variáveis que possivelmente influenciam o custo de
uma obra. Este formulário deve ser preenchido com base em dados de orçamentos
já realizados em Fortaleza, apontando as informações que estão descritas no
formulário. Obrigado por sua contribuição com o meu trabalho de conclusão de
curso.

urso.
SE NÃO SOUBER A RESPOSTA DE ALGUMAS PERGUNTAS, PODE DEIXA O CAN A PERGUNTA EM BRANCO!
Valor total do orçamento da obra?
Insira sua resposta
Quantidade de pavimentos (und.)?
Insira sua resposta
Quantidade de dormitórios (und.)?
Insira sua resposta
Quantidade de banheiros (und.)?
Insira sua resposta

	Insira sua resposta			
6.	Quantidade de unidades autônomas?			
	Insira sua resposta			
7.	Quantidade de elevadores?			
	Insira sua resposta			
8.	Quantidade de subsolos?			
	Insira sua resposta			
9.	Área total construída (m²)?			
	Insira sua resposta			
10	. Área do terreno (m²)?			
	Insira sua resposta			
11.	. Tipo de fachada?			
	o Pintura			
	 Cerâmico/Porcelanato 			
	 Fachada ventilada 			
	 Pele de vidro 			
	 Não sei informar 			
12.	. Quadra de esportes/Campo?			
	o Sim			
	o Não			

13. Playground?

- o Sim
- o Não
- Não sei informar

14. Piscina?

- o Sim
- o Não
- o Não sei informar

15. Tipologia da construção?

- Galpões
- o Condomínios de casa populares
- o Condomínios de casas
- o Casa "solta"
- Edifício comercial
- o Edifício residencial
- Institucional

16. Bombas de recalque?

- o Sim
- o Não
- Não sei informar

17. Rebaixamento do lençol freático?

- o Sim
- o Não
- Não sei informar

18. Tipo de fundação?

- o Rasa
- o Profunda
- Não sei informar

	Insira sua resposta
20.	INCC?
	Insira sua resposta
21.	Taxa administrativa do construtor?
	Insira sua resposta
22.	CUB?
	Insira sua resposta
23.	Localização?
	Insira sua resposta
24.	Índice de aproveitamento?
	Insira sua resposta
25.	Taxa de ocupação?
	Insira sua resposta
26.	Taxa de permeabilidade?
	Insira sua resposta
	Caso sinta-se a vontade, deixe seu contato abaixo, com nome, telefone ou e-mail?
Γ	Insira sua resposta