



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**



**MODELAGEM PARAMÉTRICA PARA ESTIMATIVA DE CUSTOS E  
QUANTITATIVOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

**Gabriel Souza Gonzalez  
Paulo Fragallo Ferreira**

**Belém - PA  
Dezembro/2023**

**GABRIEL SOUZA GONZALEZ  
PAULO FRAGALLO FERREIRA**

**MODELAGEM PARAMÉTRICA PARA ESTIMATIVA DE CUSTOS E  
QUANTITATIVOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a  
Faculdade de Engenharia Civil do Instituto de  
Tecnologia da Universidade Federal do Pará,  
como parte dos requisitos para obtenção do  
título de Bacharel em Engenharia Civil

**Orientador: Prof. Dr. Felipe de Sá Moreira**

**Belém - PA  
Dezembro/2023**

**GABRIEL SOUZA GONZALEZ  
PAULO FRAGALLO FERREIRA**

**MODELAGEM PARAMÉTRICA PARA ESTIMATIVA DE CUSTOS E  
QUANTITATIVOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

Belém, 15 de Dezembro de 2023

Prof. Felipe de Sá Moreira  
Dr. pela UFPA  
Orientador

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof.a. Mariana Domingues von Paumgarten (UFPA)**  
Dra. pela UFPA

**Prof. Ricardo Bentes Kato (UFPA)**  
Dr. pela UFPA

CONCEITO FINAL: \_\_\_\_\_

# MODELAGEM PARAMÉTRICA PARA ESTIMATIVA DE CUSTOS E QUANTITATIVOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Gabriel Souza Gonzalez  
Paulo Fragallo Ferreira

## RESUMO

Este estudo propõe uma análise estatística dos dados orçamentários com o intuito de facilitar a formulação de estimativas paramétricas no âmbito da construção de redes de abastecimento de água. Para atingir esse propósito, foi constituído um banco de dados composto por orçamentos de obras provenientes da Companhia de Saneamento do Pará (Cosanpa), com o objetivo de, por meio da regressão linear, definir equações que forneçam estimativas precisas. Na análise de custos, as obras de referencia exibiram uma variação média de 4,37% e 9,47%, ambas em comparação com o orçamento efetivo. Na análise dos modelos paramétricos de quantitativos a média da variação para as obras de referencia foram de 1,22% e 10,31%, respectivamente.

*Palavras-chave:* Estimativa de custos, parametrização, quantitativos, redes de água, regressão linear.

## ABSTRACT

**This study proposes a statistical analysis of budgetary data with the aim of facilitating the formulation of parametric estimates in the context of the construction of water supply networks. To achieve this purpose, a database was created consisting of project budgets from the Companhia de Saneamento do Pará (Cosanpa), with the objective of using linear regression to define equations that provide accurate estimates. In the cost analysis, the reference works showed an average variation of 4.37% and 9.47%, both in comparison with the actual budget. In the analysis of parametric quantity models, the average variation for the reference works was 1.22% and 10.31%, respectively.**

*Keywords:* Cost estimation, parametrization, quantities, water networks, linear regression.

## 1. INTRODUÇÃO

O sistema de redes de abastecimento de água, enquanto componente fundamental para garantir a dignidade e o acesso ao saneamento básico, necessita satisfazer exigências técnicas concernentes à quantidade e qualidade, visando o consumo humano (Orellana, 2018). No Brasil, 84,20% de sua população total desfruta do acesso a água devidamente tratada por meio de infraestruturas de abastecimento hídrico. Concomitantemente, verifica-se que na região norte apenas 72,20% da população tem acesso a água, conforme dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022).

Com vistas à necessidade da instalação de sistemas hídricos, a engenharia civil, ao empreender grandes obras de infraestrutura, prioriza-se a fase inicial de estudo de viabilidade. Essa etapa abrange a análise de viabilidade na implementação de projetos e a projeção de custos associados (Andrade e Souza, 2003). Na avaliação de despesas, Kim et al. (2004) destacam a importância da determinação de um valor de referência para um serviço específico, sendo a estimativa de custos uma abordagem eficaz para agilizar o processo de estudos de viabilidade.

A precisão e confiabilidade da estimativa, considerando o nível desejado de acurácia, estão ligadas a diversos elementos. Entre esses fatores, destacam-se a disponibilidade, qualidade e profundidade dos documentos técnicos, a metodologia empregada na realização da estimativa, e a competência dos especialistas encarregados da condução do procedimento de estimativa (Beljkaš, 2019). Para Sonmez (2008), a estimativa paramétrica incorpora os parâmetros relevantes com o propósito de antecipar os custos de construção, empregando dados de projetos prévios. Análises de regressão e técnicas de redes neurais são frequentemente utilizadas para a determinação de um modelo de custos apropriado.

O presente trabalho tem como objetivo verificar a acurácia da estimativa de custos aplicando o modelo paramétrico de regressão linear em dados provenientes de obras de redes de abastecimento de água. Após a análise, com a finalidade de avaliar a sua aplicabilidade em contextos práticos de estimativas, achar uma correlação eficiente utilizando-se da metragem de dados de redes reais para análise.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Para qualquer empreendimento construtivo de magnitude expressiva, é imperativo realizar uma determinação precisa da alocação de custos associados aos recursos envolvidos. A fase de construção representa o ápice da alocação de custos para os recursos do projeto, e qualquer discrepância no cálculo dessa proporção pode resultar em prejuízos substanciais para o empreendimento (Paikun et al, 2017). Nesse contexto, torna-se essencial a precisão no orçamento e a condução de estudos preliminares de viabilidade do empreendimento.

A estimativa, desempenhando um papel crucial no planejamento de projetos, conforme discutido por Swei et al. (2017), é compreendida como um processo dinâmico voltado para a previsão e antecipação de variáveis como tempo, custo e demais recursos essenciais, indispensáveis para a consecução dos objetivos predefinidos do projeto. Nesse contexto, a análise é delineada como um procedimento meticuloso de quantificação dos elementos de custos e quantidade, intrinsecamente vinculado ao escopo de investimento, com o propósito de estabelecer o orçamento do projeto (Hatamleh, 2018).

A imprecisão na orçamentação emerge como uma problemática central, conforme evidenciado pelo estudo conduzido por Flyvbjerg et al. (2004), revelando que 90% dos projetos finais de construção experimentam um aumento médio de custo em relação ao orçamentado, com uma média de incremento de 28%. Endut et al (2009) indica que menos da metade dos projetos públicos são concluídos dentro do valor previamente contratado e estimado. As elevadas percentagens de projetos com excedentes de custos apontam para uma considerável disparidade entre o custo estimado e o custo real, destacando a necessidade premente do emprego de métodos confiáveis na estimativa de custos.

Múltiplas revisões de literatura têm se dedicado à investigação dos determinantes que influenciam as estimativas de custos em projetos de construção. Um exemplo paradigmático é o estudo conduzido por Albtouch et al (2021) o qual categoriza esses determinantes em quatro grupos distintos, a saber: a) Características do Projeto: O tamanho, tipo, localização e duração do projeto exercem impacto significativo nas estimativas de custos;

b) Equipe de Estimativa: A especialização da equipe, envolvimento precoce e competição são elementos cruciais para uma estimativa precisa; c) Procedimento de Estimativa: A fase de estimativa, fundamental no ciclo do projeto, requer temporalidade adequada, informações abrangentes, documentação clara e análise aprofundada; d) Fatores Externos: Setores econômicos e variáveis externas, como custos de materiais, mão de obra, inflação e estabilidade do mercado, influenciam diretamente nas estimativas de custos.

Nesse cenário, o orçamento paramétrico se apresenta como uma alternativa viável para a estimativa e análise de viabilidade de projetos, antecedendo uma análise e cálculo aprofundados, uma vez que resulta da aplicação de metodologias estatísticas aos históricos de custos e/ou quantitativos. Em geral, o emprego do orçamento paramétrico ocorre quando apenas alguns dados cruciais estão disponíveis, como, por exemplo, os quantitativos de uma obra (Muhyarudin, 2011). Considera-se que os fatores que influenciam os padrões de custos e/ou quantitativos tendem a seguir uma tendência consistente ao longo do tempo. Portanto, as estimativas que se utilizam da parametrização fundamentam-se no histórico de dados, por meio de expressões matemáticas, para desenvolver um modelo que pode ou não ser correlacionado com os fatores de quantitativos de serviço ou preço (NASA, 2015; Kato et al., 2022)

A principal vantagem do uso da parametrização reside na capacidade de realizar estimativas de forma rápida e eficiente, sendo replicada entre diferentes serviços de estimativa (Albtoush et al., 2021). Além disso, ao implementar o método de parametrização, os resultados alcançados para as quantidades não são 100% precisos, contudo, proporcionam uma estimativa satisfatória, dependendo dos parâmetros adotados para análise (Gonçalves, 2011).

Na construção civil, a parametrização é amplamente empregada em estudos de viabilidade. Na fase inicial de uma obra, são conduzidos estudos de viabilidade que dependem de estimativas, dado que nesta etapa não existem projetos executivos (Moreira, 2013). Esse cenário é aplicável a obras de infraestrutura de redes de água, que exigem avaliação de viabilidade devido aos extensos escopos de serviço e seus custos substanciais. A rede de distribuição de água frequentemente se destaca como o serviço mais dispendioso em um sistema de abastecimento de água, sendo

que seus custos de implementação e manutenção estão diretamente ligados à qualidade do serviço (Kleiner et al, 2001).

Dentro do contexto da Relação Paramétrica de Custo, estabelece-se uma relação intrínseca entre um custo específico e uma característica técnica do produto. O parâmetro técnico selecionado deve ser criteriosamente escolhido para oferecer uma definição precisa do produto em análise, ao mesmo tempo em que mantém uma correlação substancial com o custo a ser estimado dentro da referida relação paramétrica. Esses atributos, que efetivamente delinham o custo a ser estimado, são denominados Direcionadores de Custo. Os direcionadores de custo atuam como variáveis independentes no modelo, desempenhando um papel fundamental na caracterização e estimativa dos custos associados ao produto em questão (Otero, 2000).

Para além do amplo escopo na curva ABC da orçamentação, o crescimento urbano incita a expansão da demanda por serviços de abastecimento de água tratada. No contexto brasileiro, o processo de urbanização manifestou-se de maneira acelerada e desigual, resultando na intensificação das disparidades sociais e econômicas. Isso eleva a imperatividade da implantação rápida desses sistemas, uma necessidade que pode ser atendida mediante a aceleração da análise de viabilidade de maneira mais ágil e eficaz (Rodrigues & Costa, 2023).

Uma rede moderna de água deve ser baseada em informações atualizadas a respeito do parâmetro técnico e funcional do sistema (Sægrov et al, 2003). Assim, conhecendo-se os parâmetros de serviços necessários para a construção do sistema, a coleta de dados é direcionada para as informações necessárias à elaboração do modelo, pois o resultado do modelo estimado pode ser tão eficiente quanto a sua quantidade de dados disponíveis para análise (Carr, 1989).

### **3. METODOLOGIA**

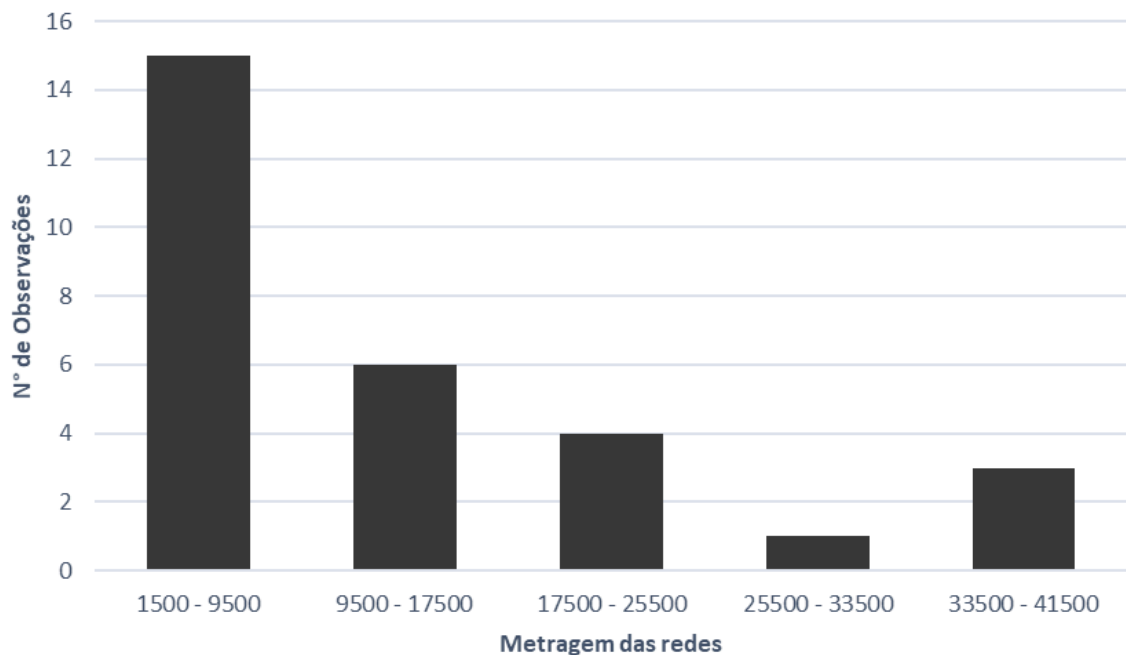
Inicialmente, procedeu-se à apresentação e caracterização das amostras, contemplando a definição dos serviços a serem analisados, conforme os critérios de exclusão adotados. Este estágio inicial foi crucial para estabelecer uma base sólida para as análises subsequentes. Em seguida, foram conduzidas análises estatísticas detalhadas, com foco na identificação e definição de dois modelos paramétricos de previsão: um direcionado à quantidade e outro ao custo dos serviços em questão. O direcionador de custo adotado na pesquisa foi o metro linear de rede executado. Esses modelos foram desenvolvidos com o intuito de proporcionar uma compreensão abrangente e preditiva das variáveis-chave relacionadas aos serviços analisados. Posteriormente, foram apresentadas as restrições aplicadas à pesquisa, delineando as limitações inerentes ao modelo desenvolvido. Essas restrições foram fundamentais para contextualizar e compreender as condições específicas nas quais o modelo pode ser aplicado de forma eficaz, ao mesmo tempo em que destacam as áreas que requerem cautela na interpretação dos resultados obtidos.

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos por meio da análise de bancos de dados pertencentes à Companhia de Saneamento do Pará (Cosanpa), a entidade concessionária local responsável pelos serviços de abastecimento de água e tratamento de esgoto. A coleta desses dados foi realizada por meio da análise de planilhas orçamentárias provenientes de 10 contratos distintos, em 7 municípios diferentes: Marituba, Moju, Alenquer, Viseu, Castanhal, Santarém, Marabá. Os dados foram retirados de planilhas orçamentárias que abrangem o período de maio de 2013 a abril de 2021, considerando a sua data de aprovação. Após a seleção dos orçamentos, os dados dos quantitativos dos serviços foram coletados, permitindo a construção de um banco de dados. Essa metodologia de coleta de dados possibilitou uma compreensão abrangente dos aspectos orçamentários relacionados aos serviços de abastecimento de água e tratamento de esgoto fornecidos pela Cosanpa, proporcionando uma base sólida para a análise e interpretação dos resultados obtidos.

A amostra utilizada nesta pesquisa abrangeu um total de 29 setores de abastecimento de redes de água, distribuídos em oito municípios distintos no Estado do Pará. As metragens das redes apresentaram uma variação significativa,

oscilando entre 1.755,18 e 40.515 metros. A representação gráfica da distribuição estatística dessas obras é apresentada na Figura 1 a seguir, oferecendo uma visão detalhada da variabilidade nas metragens dos setores de abastecimento:

Figura 1 - Distribuição das obras em relação à metragem das redes.



Fonte: Autores (2023)

Utilizou-se o critério de exclusão de variáveis para aprimorar a eficiência do modelo ao adotar-se um número mínimo de variáveis  $n=20$ , devido ao seu uso comum na literatura baseado no empirismo. Os testes Shapiro-Wilk e Anderson-Darling são bastante satisfatórios para  $n=20$  em situações típicas de regressão linear simples (Pierce & Gray, 1982). Na otimização da eficiência do modelo, adotou-se o critério de exclusão de variáveis, estabelecendo um número mínimo,  $n=20$ , fundamentado em sua recorrência na literatura como uma abordagem empírica consolidada. A aplicação dos testes de normalidade, especialmente os de Shapiro-Wilk e Anderson-Darling, revelou resultados satisfatórios, indicando uma distribuição apropriada das variáveis em situações típicas de regressão linear simples (Pierce & Gray, 1982), validando assim a robustez estatística da amostragem com  $n=20$ .

Para assegurar resultados mais precisos e interpretações confiáveis dos dados, procedeu-se à remoção de outliers da amostra. O método de Tukey, comumente

denominado como boxplot, foi selecionado para identificação e exclusão desses valores discrepantes (Rosseum & Hubert, 2017). Este método, conhecido por sua utilidade, destaca-se por não depender de premissas específicas sobre a distribuição dos dados, além de não fazer uso de médias ou desvios padrão (Seo, 2006). A aplicação deste método reforça a consistência estatística da amostra, contribuindo para a confiabilidade das análises subsequentes (Bento & Santos, 2018). Após a exclusão dos dados discrepantes da amostra, identificaram-se onze serviços que atenderam aos critérios estabelecidos, tornando-os aptos a serem integrados no estudo. Esses serviços foram categorizados em quatro grupos distintos. No Quadro 1, são apresentados os grupos de serviços e os serviços analisados, oferecendo uma visão sistemática da distribuição e classificação dos elementos estudados:

Quadro 1 - Relação de grupos e serviços analisados.

<b>Grupo de serviço</b>	<b>Descrição do serviço</b>
Serviços iniciais	Locação, sinalização com tela tapume e passadiços de madeira.
Movimento de terra	Escavação, reaterro, compactação, base e lastro de areia.
Carga e transporte de terra	Carga, descarga, transporte e espalhamento de bota fora e material de empréstimo.
Serviços complementares	Cadastro de rede, teste hidrostático.

Fonte: Autores (2023)

Após a compilação do banco de dados, a análise de regressão linear foi conduzida para cada um dos quinze serviços e para o custo global da obra, utilizando o software SPSS como ferramenta auxiliar. O objetivo central da análise de regressão é descrever a relação entre duas variáveis por meio de um modelo matemático, fundamentando-se em um conjunto de observações dessas variáveis (Crespo, 2002).

A pesquisa resultou na obtenção de dois modelos distintos. No Modelo 1, a análise de regressão linear teve como variáveis independentes os onze serviços coletados na amostra, conforme mencionado anteriormente, sendo correlacionados com a variável dependente estipulada no início da pesquisa: o metro linear de rede de água executado. Supondo  $x$  a variável dependente e  $f(x)$ : a variável independente, determinou-se o ajustamento da reta através de uma função definida pela função  $f(x) = Ax + B$ , onde:  $f(x)$ : quantitativo do serviço;  $A$ : coeficiente angular obtido em

cada regressão linear;  $B$ : coeficiente linear obtido em cada regressão linear;  $x$ : metro de rede linear que se deseja calcular o quantitativo total.

Após essa etapa, foi estabelecido o Modelo 02, composto pela análise de regressão linear entre o metro linear de rede equivalente e o custo global das obras. Esse modelo foi desenvolvido com o propósito de explorar e quantificar a relação entre essas duas variáveis, proporcionando informações fundamentais para a compreensão dos custos associados à execução do metro linear de rede equivalente. Considerando  $x$  como a variável dependente e  $v(x)$  como a variável independente, procedeu-se ao ajustamento da reta por meio de uma função definida pela equação:  $v(x) = Cx + D$ , onde:  $v(x)$ : representa o custo global da obra;  $C$ : coeficiente angular obtido na regressão linear  $D$ : coeficiente linear obtido na regressão linear;  $x$ : metro de rede linear que se deseja calcular o custo total.

Os custos históricos relacionados à infraestrutura de abastecimento de água foram atualizados para a data de setembro de 2023, mediante a aplicação do Índice Nacional de Custo da Construção (INCC) fornecido pela Fundação Getúlio Vargas (FGV). A escolha desta data como referência foi fundamentada na data do contrato mais recente disponível. Desta forma, todos os custos foram atualizados para refletir os valores correntes, utilizando a mesma data base padrão.

Para determinar a direção e mensurar de maneira apropriada a força da correlação linear, recorreu-se a ferramentas algébricas capazes de interpretar essa correlação, uma vez que os diagramas de dispersão podem ser subjetivos. As principais ferramentas utilizadas foram o coeficiente de determinação (frequentemente representado por  $R^2$ ) e o coeficiente de determinação ajustado. Essas métricas oferecem uma abordagem mais objetiva e quantitativa na avaliação da relação linear entre as variáveis, proporcionando insights robustos sobre a intensidade e a direção da correlação. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) representa a proporção da variação total de  $Y$  explicada pela relação linear com as variáveis independentes  $X$ . O coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  ajustado) é uma versão modificada do  $R^2$  que leva em consideração o número de observações independentes na amostra do modelo.

Na pesquisa, essa métrica foi utilizada com o objetivo de ajustar o modelo, penalizando a inclusão de variáveis desnecessárias e evitando uma inflação artificial do  $R^2$  quando novas variáveis são adicionadas (Otero, 2000). Portanto, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) pode ser adotado como parâmetro para caracterizar a qualidade numérica do modelo. No entanto, é importante ressaltar que apenas esse indicador não é suficiente, sendo necessário complementar a análise com a avaliação da sensibilidade dos dados e dos resultados obtidos (Coutinho et al, 2012). Os resultados apresentados (Quadro 1) para as análises de regressões lineares foram classificados em seis grupos para o  $R^2$  ajustado: nula, fraca, média, forte, fortíssima e perfeita.

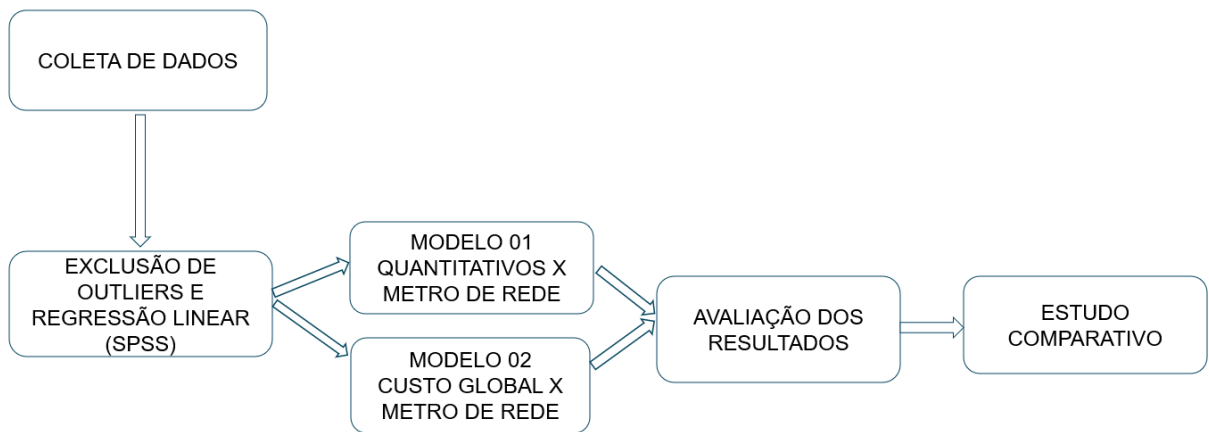
Quadro 1 - Relação de grupos e serviços analisados;

COEFICIENTE	$R^2_{ajustado}$
$R^2_{ajustado} = 0$	Nula
$0 < R^2_{ajustado} \leq 0,09$	Fraca
$0,09 < R^2_{ajustado} \leq 0,49$	Média
$0,49 < R^2_{ajustado} \leq 0,81$	Forte
$0,81 < R^2_{ajustado} \leq 0,9801$	Fortíssima
$0,981 < R^2_{ajustado} \leq 1$	Perfeita

Fonte: Coutinho et al. (2012)

Por fim, as equações paramétricas obtidas foram aplicadas e comparadas a orçamentos reais, de modo a obter-se um estudo comparativo. De maneira sintética, a figura 2 abaixo ilustra o fluxograma contendo a ordem lógica das etapas adotadas na metodologia da pesquisa.

Figura 2 – Fluxograma resumo da metodologia



Fonte: Autores (2003)

Para viabilizar a implementação da pesquisa e gerar o modelo paramétrico desejado, foram definidas as seguintes limitações:

- a) A análise concentrou-se exclusivamente nos quantitativos de serviço, excluindo especificações detalhadas de materiais e equipamentos, conferindo ao modelo uma abordagem mais genérica e permitindo a utilização de composições comuns na prática da empresa, incorporando preços atualizados conforme as condições de mercado;
- b) Os quantitativos dos serviços foram extraídos das quantidades contratuais aprovadas nas planilhas orçamentárias das obras;
- c) O escopo do modelo abrangeu unicamente redes de distribuição de água tratada, excluindo redes de adução de água bruta, desconsiderando, assim, eventuais serviços decorrentes de peculiaridades no entorno da obra, como infraestruturas complementares;
- d) Serviços de demolição e recomposição asfáltica foram excluídos da análise devido à falta de correlação com a variável de estudo, estando intrinsecamente ligados à variável linear "ruas pavimentadas";
- e) A análise dos quantitativos de tubulações foi excluída devido à baixa correlação com a variável de estudo;

- f) Peças e conexões da rede não foram contempladas na análise, uma vez que não apresentam um padrão definido, dependendo fortemente das características geométricas da rede de distribuição;
- g) Os serviços de escavação e reaterro, originalmente categorizados em modalidades manual e mecanizada, foram agregados como um único serviço para fins de pesquisa. Estas delimitações foram estrategicamente estabelecidas para orientar a pesquisa, priorizando aspectos específicos e pertinentes ao escopo proposto;
- h) O impacto da localidade não foi considerado, uma vez que as obras estão distribuídas em todo o Estado do Pará, abrangendo uma extensa área com diversas particularidades em cada município. Esse aspecto configura-se como um fator significativo de influência na formulação de um modelo, requerendo uma análise mais aprofundada.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para cada serviço abordado na pesquisa, procedeu-se à determinação das equações de previsão e à condução de uma análise estatística que visou evidenciar a intensidade da relação entre as variáveis e a extensão de rede em que a variação de uma é explicada pela outra. Dessa forma, a Tabela 2 mostra as equações paramétricas que formaram o modelo de previsão de quantitativo, juntamente com os índices  $R^2$  e  $R^2$  ajustado de cada serviço dentro do modelo.

Tabela 2 – Resultados da análise de regressão entre os quantitativos de serviços e rede executada.

Serviço	Unidade	Equação	$R^2$	$R^2$ Ajustado
Sinalização com tela tapume	M	$f(x) = 0,0216x + 106,769$	0,877	0,871
Passadiço de madeira	M2	$f(x) = 0,008x - 4,282$	0,943	0,94
Escavação de vala	M3	$f(x) = 0,67x + 483,318$	0,977	0,977
Esgotamento com moto-bomba	H	$f(x) = 0,043x + 188,147$	0,413	0,38
Compactação de vala	M2	$f(x) = 0,569x + 1018,726$	0,972	0,971
Lastro e envoltória de areia	M3	$f(x) = 0,088x + 1593,656$	0,187	0,155
Reaterro de valas	M3	$f(x) = 0,495x - 226,617$	0,869	0,864
Carga e descarga mecânica de solo	M3	$f(x) = 0,331x + 1297,02$	0,887	0,882
Transporte total de aterro e bota fora	M3 X KM	$f(x) = 4,899x + 55867,69$	0,477	0,456

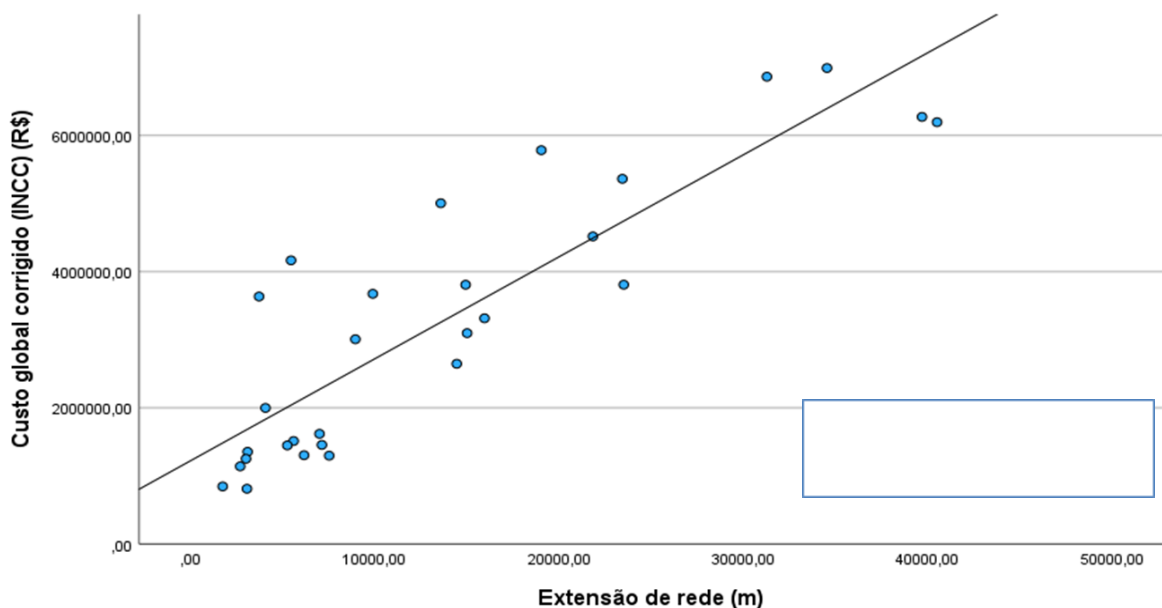
Espalhamento de material de bota fora	M3	$f(x) = 0,399x + 1015,042$	0,956	0,954
Teste hidrostático de rede	M	$f(x) = 0,928x + 142,41$	0,951	0,948

Fonte: Autores (2023)

De maneira geral, a elevação do valor de  $R^2$  está diretamente associada a uma melhoria nos resultados da estimativa oferecida por essa equação. Estes resultados mostram que a quantidade da maioria dos serviços está diretamente ligada a este comprimento, uma vez que o poder explicativo da variação destas quantidades dos serviços é baseado no critério  $R^2$ . Um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) que atinge ou ultrapassa 80% é amplamente aceito como adequado para assegurar uma confiabilidade substancial no ajuste da equação de regressão (Otero, 2000).

Analisando todos os serviços e tomando como base o Quadro 1 e a classificação de Coutinho et al. (2012), as relações encontradas entre o comprimento de rede e a quantidade dos serviços foram 77,72% fortíssimas e 22,28% médias, quando analisadas pelo critério da avaliação de  $R^2$ . Estes resultados mostram que a quantidade da maioria dos serviços está diretamente ligada a esta variável em estudo. Para o modelo de custo global, a Figura 2 mostra o modelo de regressão usado em sua previsão juntamente com as equações paramétricas e os índices  $R^2$  e  $R^2$  ajustado:

Figura 2: Gráfico de dispersão de custo global corrigido (R\$) x Extensão de rede (m)



Fonte: Autores (2023)

Os índices  $R^2$  indicam o quão bem o modelo se ajusta aos dados, tal como a figura que demonstra a convergência e ajuste dos valores. Pelo critério adotado, pode-se dizer que este modelo apresenta uma classificação de correlação forte entre as variáveis comprimento de rede executado e custo total da obra. Para validar os resultados acerca dos modelos paramétricos, realizou-se a aplicação e comparação das equações paramétricas com dois setores de rede de abastecimento de contratos distintos. A obra 30 se localiza na região de Maragogi-AL e a obra 31 na região metropolitana de Belém-PA. Para fins de estudo, optou-se por utilizar na comparação obras de diferentes contratos, regiões e não pertencentes a Cosanpa. A tabela apresenta o resultado das obras 30 e 31 utilizando o modelo de regressão linear entre o comprimento de rede executado e o custo global licitado:

Tabela 3: Resultados obtidos pelo modelo paramétricos de custo.

Obra	Orçamento Real (1)	Orçamento Real (1)	Orçamento Paramétrico (2)	Diferença (1-2)	Variação (%)
Obra 30	R\$ 3.515.490,09	R\$ 4.757.601,58	R\$ 4.558.389,69	R\$ 199.211,89	4,37%
Obra 31	R\$ 2.216.324,98	R\$ 2.223.912,68	R\$ 2.031.604,68	R\$ 192.308,00	9,47%

Fonte: Autores (2023)

Ao examinar os desfechos dos modelos paramétricos, conforme evidenciado na Tabela 3, é observável uma notável similaridade entre eles, destacando-se por uma discreta variação. A obra 30 exibiu uma variação média de 4,37%, ao passo que a obra 31 demonstrou uma variação média de 9,47%, ambas em comparação com o orçamento efetivo.

Para testar o modelo e comparar os resultados obtidos utilizando o comprimento de rede, os quantitativos dos serviços foram estimados por meio do modelo e comparados com o quantitativo real (levantados em projetos executivos). A tabela 4 mostra os resultados do teste para a comparação entre os orçamentos paramétricos estimados pelo modelo e os orçamentos reais de cada serviço analisado na amostra.

Tabela 4: Resultados obtidos pelos modelos paramétricos de quantidades.

Serviço	Obra 30			Obra 31		
	Orçamento Real 1	Orçamento Paramétrico 1	Variação (%)	Orçamento Real 2	Orçamento Paramétrico 2	Variação (%)

Sinalização com tela tapume	4456,5	4919,79	-10,40%	1083,25	1276,68	-17,86%
Passadiço de madeira	159,29	173,98	-9,22%	41,16	39,05	5,13%
Escavação de vala	16472,37	15412,61	6,43%	4872,88	4112,21	15,61%
Esgotamento com moto-bomba	1354,52	1146,30	15,37%	541,63	421,05	22,26%
Compactação de vala	14888,79	13697,48	8,00%	4138,02	4100,58	0,90%
Lastro e envoltória de areia	4194,40	3554,52	15,26%	1555,13	2070,29	-33,13%
Reaterro de valas	15886,12	10780,95	32,14%	3794,41	2449,02	35,46%
Carga e descarga mecânica de solo	7356,25	8672,53	-17,89%	4283,72	3089,80	27,87%
Transporte total de aterro e bota fora	166653,24	165029,76	0,97%	112480,47	82401,95	26,74%
Espalhamento de material de bota fora	7356,25	9905,77	-34,66%	4283,72	3176,13	25,86%
Teste hidrostático de rede	22476,5	20820,59	7,37%	5416,26	5168,70	4,57%

Fonte: Autores (2023)

Na análise dos modelos paramétricos, evidencia-se uma proximidade entre os valores. A média da variação de quantitativos para a Obra 30 foi de 1,22%, enquanto que para a obra 31 foi de 10,31%. A incidência de uma variação maior dentro do grupo de serviço Movimento de Terra pode ser justificada pela forte influência de fatores externos ao modelo, como a demanda de água da rede, as diferentes distâncias médias de transporte (DMTs) de cada obra, além dos critérios de quantificação particulares de cada orçamentista. Dessa forma, o modelo mostrou capacidade de, apenas com informações preliminares obter certa precisão, independentemente de projetos preliminares, favorecendo assim os estudos de viabilidade.

## 5. CONCLUSÃO

A modelagem paramétrica para estimativa de custo é uma prática de longa data na construção civil. Contudo, a escolha e aplicação dos parâmetros são constantemente reavaliadas. Observa-se variação na utilização desses parâmetros, incluindo divergências sobre quais são mais adequados para uma avaliação precisa de custos. Os modelos baseados em regressão, como ferramenta estatística, podem adotar parâmetros de forma isolada ou em conjunto por meio de regressões múltiplas, permitindo a avaliação de uma única variável por meio do uso de várias. Utilizando equações paramétricas lineares, derivadas de análises de regressão, o modelo matemático desenvolvido permitiu a previsão das quantidades de serviço a partir da extensão, possibilitando a estimativa dos custos e quantitativos da obra.

O estudo também avaliou a acurácia do modelo nas obras da amostra, expressos numericamente pelo  $R^2$  do modelo e pela variação obtida dos estudos comparativos. Apesar dos resultados promissores deste estudo de caso, existem oportunidades para aprimorar ainda mais esse trabalho. Sugere-se para futuros estudos a incorporação de um maior número de variáveis de quantitativos não contemplados nessa pesquisa, assim como a incorporação de diferentes tipos de indexadores para a atualização de orçamentos. Além disso, um estudo semelhante poderia ser conduzido, mas agora utilizando também o enfoque na variável demanda de água, que têm uma forte influência dentro dessa análise. Outra abordagem que pode ser feita é relacionada a abordagem em cima dos índices de produtividade, visto que os orçamentos utilizados em sua maioria utilizam índices SINAPI.

Dessa forma, concluiu-se que o modelo paramétrico desenvolvido neste trabalho apresenta capacidade de obter alta acurácia na previsão dos custos apenas com informações preliminares (metro de rede a ser executado), sendo adequado para utilização na fase de estudo de viabilidade do empreendimento. A contribuição metodológica deste trabalho pode ser estendida para outros tipos de sistemas de infraestrutura, além de poder servir como uma ferramenta de otimização da engenharia moderna. Destaca-se a necessidade de procedimentos tecnológicos, aliados ou não a inteligência artificial como a análise de dados, a serem implementados e continuamente aprimorados no setor da construção civil para que se tenha cada vez mais se tenha a precisão e êxito nos orçamentos de obras.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, A.C de; SOUZA, U. E. L. de. **Críticas ao processo orçamentário tradicional e recomendações para confecção de um orçamento integrado ao processo de produção de um empreendimento**. In: Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, III, Encontro Latino-Americano de Gestão e Economia da Construção, 2003, São Carlos. Anais... São Carlos: UFSCAR, 2003. p. 1-11.

ALBTOUSH, F. et al. **Factors Affecting the Accuracy of Cost Estimate in Construction Projects: A Review**, 2021.

BENTO, G. M. & SANTOS, R. T. **Avaliação de Métodos de Remoção de Outliers e seus Impactos na Precisão dos Métodos de interpolação.** 1 Simpósio Mato-Grossense de Mecanização Agrícola e Agricultura de Precisão – SIMAP, SINOP, Brasil, pp. 1, 2018.

BRASIL. **Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento.** Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto - 201 Brasília: SNIS, 2022.

CARR, Robert I. **Cost-Estimating Principles.** *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 115, no. 4, p. 545-551. American Society of Civil Engineers (ASCE), 1989.

COUTINHO, L. S. de A. L. et al. **Modelagem do tempo de execução de obras civis:** estudo de caso na Universidade Federal do Pará. *Ambient. constr.*, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 243-256, 2012.

CRESPO, A. A. **Estatística Fácil.** 18ª ed. São Paulo: Saraiva, 2002. 224 p.

ENDUT, I.R., A. AKINTOYE; J. KELLY. **Cost and time overruns of projects in Malaysia.** 2009. 21: p.243-252.

FLYVBJERG, B.; SKAMRIS HOLM, M. K.; BUHL, S. L. **What Causes Cost Overrun in Transport Infrastructure Projects?** *Transport Reviews*, v. 24, n. 1, p. 3–18, jan. 2004.

GONÇALVES, C. M. M. **Método para Gestão do Custo da Construção no Processo de Projeto de Edificações.** 182p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

HATAMLEH, M. T.; HIYASSAT, M; SWEIS, G. J.; et al. **Factors affecting the accuracy of cost estimate: case of Jordan.** *Engineering, Construction and Architectural Management*, v. 25, n. 1, p. 113–131, 2018.

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*, v. 39, p. 1235- 1242, 2004.

KLEINER, Y. **Rehabilitation planning of water distribution networks: the component and the system perspective**. National Research Council of Canada, 1997.

LARSON, E.W.; C.F. GRAY, **Project Management: The Managerial Approach**. 2011: McGraw-Hill.

LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística aplicada**. 6<sup>a</sup> ed. São Paulo: Pearson, 2015. 656 p.

MOREIRA, F. S. **Modelo de previsão de custos na fase de estudo de viabilidade para empresas de construção**. 2013. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal do Pará – UFPA, Belém, 2013.

NASA. **Cost Estimating Handbook**. Version 4.0, 2015. 63p. Disponível em <[https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/01\\_CEH\\_Main\\_Body\\_02\\_27\\_15.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/01_CEH_Main_Body_02_27_15.pdf)>.

ORELLANA, A.; MARTIM, A. L. S. S.; ZUFFO, A. C.; et al. **Contribuição ao planejamento de reabilitação de redes de distribuição de água**. Ribagua, v. 5, n. 2, p. 79–91, 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. 2000. 214 p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PIERCE, D. A.; GRAY, R. J. **Testing Normality of Errors in Regression Models**. Biometrika, v. 69, n. 1, p. 233–233, 1982.

KATO, R. B.; PARANHOS, L. P.; CASTRO, V. C. **Estudo de dados paramétricos para a estimativa de custos de construção de reservatórios de água**. Revista DAE, v. 70, n. 235, p. 193–202, 4 mar. 2022.

ROUSSEUW, P. J. ; HUBERT, M. **Anomaly detection by robust statistics**. Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, v. 8, n. 2, p. e1236, 2017.

RODRIGUES, C.; FERNANDES, R. **Considerações para a compreensão do saneamento básico no Brasil**. Revista verde grande, v. 5, n. 01, p. 186–204, 2023.

SVEINUNG SÆGROV; A. KÖNIG; MATTICK, A; et al. **Methods for estimating water network rehabilitation needs**. Water Science & Technology: Water Supply, v. 3, n. 1-2, p. 63–69, 2003.

SEO, S. **A Review and Comparison of Methods for Detecting Outliers in Univariate Data Sets**, 2006. d-scholarship.pitt.edu. Disponível em: <<http://d-scholarship.pitt.edu/7948/>>.

SONMEZ, R. **Parametric Range Estimating of Building Costs Using Regression Models and Bootstrap**. Journal of Construction Engineering and Management, v. 134, n. 12, p. 1011–1016, 2008.

SWEI, O.; GREGORY, J.; KIRCHAIN, R. **Construction cost estimation: A parametric approach for better estimates of expected cost and variation**. Transportation Research Part B: Methodological, v. 101, p. 295–305, 2017.