LUMEN ET VIRTUS
ISSN: 2177-2789

SISTEMA PARA OTIMIZAÇÃO DE CUSTOS LOGÍSTICOS EM E-COMMERCE: SIMULAÇÃO DE FRETES POR VARIAÇÃO DIMENSIONAL

SYSTEM FOR OPTIMIZING LOGISTICS COSTS IN E-COMMERCE: FREIGHT SIMULATION BY DIMENSIONAL VARIATION

SISTEMA PARA OPTIMIZAR COSTOS LOGÍSTICOS EN EL COMERCIO ELECTRÓNICO: SIMULACIÓN DE FLETES POR VARIACIÓN DIMENSIONAL

https://doi.org/10.56238/levv17n58-032

Data de submissão: 16/02/2026 **Data de publicação:** 16/03/2026

Carlos Eduardo Schumacher Nunes
Bacharelando de Sistemas de Informação
Instituição: Antonio Meneghetti Faculdade

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a validação de um sistema móvel para cotação em lote de fretes, no campo da logística para comércio eletrônico, com o objetivo de auxiliar pequenos empreendedores na escolha da embalagem e do serviço de envio mais vantajoso a partir da variação das dimensões dos pacotes. A metodologia adotada combinou a abordagem ágil DSDM para o desenvolvimento incremental, entrevistas exploratórias com lojistas, experimentos sistemáticos de simulação dimensional e integração com a API agregadora Melhor Envio para obtenção de cotações em diversas rotas. Os resultados evidenciaram descontinuidades tarifárias e saltos significativos de preço provocados por pequenas variações dimensionais, além de demonstrar que a automação das simulações permite identificar opções economicamente mais favoráveis e alternativas de baldeação que, em vários casos, reduziram custos. A solução implementada, testada em ambiente operacional real por sessenta dias, processou volumes amplos de simulações com tempo médio de resposta compatível com a rotina (aproximadamente 10 segundos) e comprovou ganho prático na tomada de decisão. Conclui-se que a ferramenta valida o conceito e oferece benefícios operacionais relevantes, embora sua comercialização exige aprimoramentos em autenticação, controle de cota de API e adequação a requisitos legais e contratuais.

Palavras-chave: Logística. Cubagem. Cotação de Frete. Baldeação. Comércio Eletrônico.

ABSTRACT

This work presents the development and validation of a mobile system for batch freight quotation in the field of e-commerce logistics, aiming to assist small entrepreneurs in choosing the most advantageous packaging and shipping service based on variations in package dimensions. The methodology adopted combined the DSDM agile approach for incremental development, exploratory interviews with retailers, systematic dimensional simulation experiments, and integration with the Melhor Envio aggregator API to obtain quotations on various routes. The results showed tariff discontinuities and significant price jumps caused by small dimensional variations, and demonstrated that the automation of simulations allows the identification of more economically favorable options and transshipment alternatives that, in several cases, reduced costs. The implemented solution, tested in a real operational environment for sixty days, processed large volumes of simulations with an

average response time compatible with the routine (approximately 10 seconds) and proved a practical gain in decision-making. It is concluded that the tool validates the concept and offers relevant operational benefits, although its commercialization requires improvements in authentication, API quota control, and compliance with legal and contractual requirements.

Keywords: Logistics. Cubing. Freight Quotation. Transshipment. E-commerce.

RESUMEN

Este trabajo presenta el desarrollo y la validación de un sistema móvil para la cotización de fletes por lotes en el ámbito de la logística del comercio electrónico, con el objetivo de ayudar a los pequeños empresarios a elegir el servicio de embalaje y envío más ventajoso en función de las variaciones en las dimensiones de los paquetes. La metodología adoptada combinó el enfoque ágil DSDM para el desarrollo incremental, entrevistas exploratorias con minoristas, experimentos sistemáticos de simulación dimensional e integración con la API del agregador Melhor Envio para obtener cotizaciones en diversas rutas. Los resultados mostraron discontinuidades tarifarias y aumentos significativos de precios causados por pequeñas variaciones dimensionales, y demostraron que la automatización de las simulaciones permite la identificación de opciones económicamente más favorables y alternativas de transbordo que, en varios casos, redujeron los costos. La solución implementada, probada en un entorno operativo real durante sesenta días, procesó grandes volúmenes de simulaciones con un tiempo de respuesta promedio compatible con la rutina (aproximadamente 10 segundos) y demostró una mejora práctica en la toma de decisiones. Se concluye que la herramienta valida el concepto y ofrece beneficios operativos relevantes, aunque su comercialización requiere mejoras en la autenticación, el control de cuotas de la API y el cumplimiento de los requisitos legales y contractuales.

Palabras clave: Logística. Cubicación. Cotización de Fletes. Transbordo. Comercio Electrónico.

1 INTRODUÇÃO

O comércio eletrônico já apresentava um crescimento consistente antes da pandemia de COVID-19, porém esse avanço foi intensificado a partir desse período, impulsionado pela praticidade oferecida tanto a vendedores quanto a consumidores no acesso a produtos e serviços (Roszko-Wójtowicz, 2024).

No Brasil, esse setor apresentou uma expansão significativa: em 2019 o país contava com cerca de 350 mil lojas virtuais ativas; ao final de 2024 esse número subiu para 647 mil, segundo dados da Associação Brasileira de Comércio Eletrônico (ABCOMM, 2024), portanto, um crescimento de mais de 85% em somente cinco anos, evidenciando a crescente demanda por soluções tecnológicas que apoiem a gestão e a competitividade desses negócios.

Segundo o estudo da ABCOMM (2024), o frete corresponde a ~65,9% dos custos logísticos das lojas virtuais. Os gastos com embalagens representam cerca de 14%. Assim, a escolha adequada de embalagens e de modalidade de frete é estratégica. Investir em automação e em processos logísticos digitalizados também ajuda a cortar custos operacionais, tornando mais sustentável o negócio.

Segundo a pesquisa anual realizada pela BigDataCorp (2024) sobre o perfil do e-commerce brasileiro, 73,5% das lojas virtuais no Brasil são familiares; 86% operam com menos de 10 funcionários; e 45,7% são empresas individuais, geridas por somente uma pessoa.

Dentro da metodologia adotada neste estudo, foi realizada uma pesquisa exploratória com donos e representantes de lojas online do Brasil, buscando entender sua relação com os envios de suas mercadorias. Com isso, foi possível aferir que uma das principais dificuldades enfrentadas por esses empreendedores após realizar uma venda online, está relacionada à escolha da embalagem ideal para o envio dos produtos. As múltiplas combinações possíveis entre dimensões, pesos e transportadoras podem gerar variações significativas no custo do frete.

O que eles buscam não é apenas encontrar a opção mais barata, mas sim identificar a embalagem que ofereça a melhor proteção possível pelo menor custo. Isso significa buscar a maior caixa possível no limite de preço mais vantajoso e garantir a integridade do produto durante o transporte, sem comprometer a competitividade da venda. Uma escolha inadequada pode encarecer o envio, reduzir a margem de lucro ou até inviabilizar a transação.

Existem plataformas que permitem simular o envio de um pacote para um determinado CEP, comparando diversas transportadoras e apresentando rapidamente as opções de frete e seus custos. No entanto, essas ferramentas nem sempre deixam claro o impacto que a variação da cubagem exerce sobre o preço final.

A cubagem é o volume cúbico que tem determinada carga e dependendo desses valores, é aplicado uma taxa para o transporte do pacote (NTC&Logística, 2014). Mas, na prática, como é apontado durante este trabalho, a aplicação das taxas não são tão simples e lineares.

Nesse contexto, são apresentadas situações em que uma variação de apenas um centímetro na altura de uma embalagem pode resultar em um aumento de até 350% no custo do frete, mesmo quando a opção mais barata é selecionada em ambos os cenários analisados.

Esse cenário evidencia a necessidade de uma ferramenta que auxilie no cálculo da cubagem ideal, especialmente para pequenos empreendedores que começam a enfrentar um aumento na demanda, pois, o valor cobrado pelo frete, como apontado por SILVA (2023) nem sempre segue um padrão contínuo e previsível o que se agrava quando cada transportadora utiliza sua própria fórmula para calcular o resultado. Uma escolha mal informada pode resultar em custos desnecessários com o frete.

Diante desse cenário, propõe-se o desenvolvimento de um sistema para cotação de fretes em lote, baseado na variação das dimensões dos pacotes. Conforme observado por Meneghetti (2013), a análise de mercado constitui um requisito fundamental para a tomada de decisão empresarial, uma vez que a compreensão adequada do ambiente competitivo possibilita escolhas mais racionais e eficientes. A solução proposta automatiza a simulação de diferentes configurações de volume e identifica, de forma rápida, as opções de envio mais econômicas e seguras entre múltiplas transportadoras.

A pesquisa fundamenta-se na realidade de uma microempresa familiar, administrada pelo autor e sua esposa, dedicada à venda de artigos de decoração por meio de um e-commerce próprio. Toda a operação ocorre de forma independente, diretamente na residência dos gestores. Após cada venda, a definição da embalagem e do modal de frete mais adequado torna-se uma etapa estratégica do processo, uma vez que esses fatores impactam diretamente a experiência do cliente, a integridade do produto, muitas vezes delicado, e a margem de lucro da operação.

A implementação em cenário real mostrou sinais de redução de custos operacionais, melhorou a gestão logística, além de reduzir o esforço manual na rotina de envios por meio de escolhas mais conscientes de embalagem e modal. Conforme observado por Silva e Guimarães (2025), práticas não sistematizadas de cálculo de frete, baseadas na intuição em vez de análise técnica, costumam gerar prejuízos. Após a implantação, realizou-se uma análise dos impactos práticos dessa solução tecnológica no cotidiano da microempresa, a qual confirmou benefícios operacionais e ganho de eficiência.

Após a implementação, será realizada uma análise dos impactos práticos dessa solução tecnológica no cotidiano de um pequeno empreendimento de e-commerce.

2 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento e avaliação da solução proposta. Inicialmente é descrita a aplicação da metodologia ágil DSDM na organização das etapas do projeto, desde a definição do problema até a implementação e avaliação do

sistema. Em seguida são apresentados os procedimentos de coleta de dados por meio de pesquisa exploratória com empreendedores do comércio eletrônico, utilizados para compreender as dificuldades enfrentadas no processo de cotação de fretes.

Também são descritos os métodos adotados para análise de padrões em cotações de frete, as tecnologias utilizadas no desenvolvimento do aplicativo e a arquitetura do sistema. Por fim, é detalhado o modelo de simulação e processamento de dados empregado para gerar as combinações dimensionais e realizar as consultas automatizadas de frete. Esses procedimentos metodológicos estruturam o desenvolvimento da solução e permitem a validação prática de seu funcionamento no contexto analisado.

2.1 METODOLOGIA ÁGIL DSDM

O projeto teve seu andamento distribuído em seis fases, como estabelecido pela metodologia DSDM. São elas: pré-projeto, viabilidade, fundamentos, desenvolvimento evolucionário, implementação e pós-projeto.

A fase inicial de pré-projeto concentrou-se na definição do problema e objetivos mediante levantamento das dificuldades enfrentadas por microempreendedores de e-commerce através de entrevistas estruturadas, formulação dos objetivos do sistema e estabelecimento de métricas quantificáveis de sucesso, incluindo redução de custos logísticos e tempo de cotação.

No estudo de viabilidade, realizou-se a avaliação técnica das APIs de frete disponíveis, incluindo Melhor Envio, Frenet e SuperFrete. Testes preliminares com a API do Melhor Envio confirmaram sua adequação aos requisitos do projeto.

A fase de fundação dedicou-se à definição arquitetural e priorização de requisitos. A arquitetura técnica foi estabelecida com a seleção do conjunto de tecnologias a ser usado (React Native, Expo e Firebase). Os requisitos funcionais foram categorizados utilizando a técnica MoSCoW:

- Tem que ter: Cotação em lote, filtros dinâmicos e ranking de cotações
- Deve ter: Histórico de cotações e personalização
- Não precisa ter: Integração com ViaCEP e módulo de baldeações.
- Não terá: Pagamento integrado de fretes, gestão de diversos usuários, adicionar etiqueta no carrinho do Melhor Envio e Integração com catálogo.

O desenvolvimento evolucionário organizou-se em ciclos onde cada iteração concentrou-se na entrega de funcionalidades específicas e testes, com progressiva sofisticação das capacidades do sistema e refinamento da experiência do usuário.

Na fase de implementação, realizou-se implantação controlada no ambiente operacional da microempresa familiar, acompanhada de coleta sistemática de métricas de desempenho como tempo médio de cotação e economia por envio.

Finalmente, o pós-projeto direcionou-se à avaliação dos resultados e planejamento evolutivo, incluindo análise da viabilidade de transformar a solução em produto comercializável.

Esta abordagem permitiu conciliar pesquisa acadêmica com desenvolvimento prático, validando cada incremento funcional no ambiente operacional real que originou o projeto. Os princípios DSDM foram críticos para ajustar a solução às necessidades do negócio.

2.2 PESQUISA EXPLORATÓRIA COM EMPREENDEDORES

Para compreender as reais dificuldades enfrentadas por lojistas na etapa de cotação de fretes, foi realizada uma entrevista com 12 empreendedores do segmento de decoração que atuam no comércio eletrônico. Os participantes foram identificados por meio de busca online em plataformas digitais e redes sociais, sendo selecionados por apresentarem operação ativa de vendas online e utilização recorrente de serviços de envio. Parte dos entrevistados atua exclusivamente no ambiente digital, enquanto outros conciliam o e-commerce com loja física. A amostra contempla negócios de diferentes portes, incluindo microempreendedores individuais e microempresas, permitindo observar dificuldades comuns relacionadas à etapa de cotação e contratação de fretes.

As entrevistas foram conduzidas de forma online, e as questões abordadas estão dispostas no Quadro 01, juntamente com os objetivos de cada uma.

Quadro 01 - Perguntas realizadas e seus objetivos

Pergunta aplicada	**Objetivo por trás da pergunta**
Trabalham com mais de uma transportadora ou por padrão todo envio é feito com a mesma empresa (Correios, Jadlog, Braspress etc.)?	Identificar o nível de diversidade logística e entender se o lojista já compara preços entre diferentes transportadoras ou se está limitado a uma única opção.
Usam algum agregador de cotação de frete, como o Melhor Envio?	Verificar o grau de adoção de ferramentas automatizadas e entender se o público já tem familiaridade com sistemas de cotação.
Possuem caixas de tamanhos padronizados ou cada venda exige buscar uma caixa com dimensões específicas?	Mapear o nível de padronização das embalagens e compreender se o processo atual causa retrabalho ou decisões improvisadas.
Ao estimar o tamanho da caixa para cotar o frete, já ocorreram situações em que o valor sobe inesperadamente por causa de poucos centímetros, sem seguir um padrão?	Confirmar a existência de descontinuidades tarifárias percebidas na prática, evidenciando o problema central que o sistema proposto busca resolver.

Fonte: Autor

2.3 ANÁLISE DE PADRÕES EM COTAÇÕES DE FRETE

Após montar e cubar diversos pacotes para a empresa-piloto, constatou-se, com certa frequência, variações de preço atípicas nas cotações. Um exemplo claro está apresentado na Figura 01. Nesse caso, o valor do frete mais do que triplicou com a adição de apenas 1 cm a uma das dimensões do pacote, aumento que corresponde a aproximadamente 3% do volume total. No exemplo a seguir,

foi usado a plataforma da “Nuvem Envio”, que apresenta os dados de uma forma mais apropriada para a demonstração.

Figura 01 - Exemplo de inconsistências em cobrança de fretes



Fonte: Autor

Com o intuito de estender o método usado pelo mercado para orçar os seus fretes, realizou-se uma pesquisa exploratória baseada em simulações sistemáticas. A pesquisa se constitui em realizar diversas simulações de frete com variações de 1 até 50 centímetros em cada dimensão de forma independente, mantendo o peso de 0,5 kg e o valor segurado em R$ 50,00 constante no decorrer de todas as simulações. Essa simulação é feita com o total de 8 serviços de frete diferentes, isso resulta em um total de mais de milhão de resultados.

Para se obter uma melhor noção de possíveis variações, e evitar casos específicos onde possa se encontrar exceções, esse teste foi repetido três vezes com diferentes combinações de fretes. A primeira conectou a cidade de Santa Maria no interior do Rio Grande do Sul com Araguaína no interior do Tocantins; a segunda relaciona Santa Maria a Piracicaba, interior de São Paulo; e a terceira ligou Porto Alegre à capital do estado de São Paulo.

2.4 TECNOLOGIAS UTILIZADAS

Para o desenvolvimento da interface interativa para o usuário, foi optado pelo uso do React Native juntamente do Expo. O React Native se trata de um framework, que adapta o JavaScript para uso de desenvolvimento de softwares para Android e IOS, possibilitando a criação de só um aplicativo

para ambas as principais plataformas de dispositivos móveis. Já o JavaScript trata-se da linguagem que, conforme a Pesquisa Anual de Desenvolvedores do Stack Overflow de 2024, foi apontada como a mais popular entre os entrevistados, com 62,3% declarando tê-la utilizado no último ano, o que evidencia sua ampla adoção, maturidade tecnológica e forte suporte da comunidade de desenvolvedores

Também foi feita a escolha do uso do Expo, uma ferramenta que facilita a criação de aplicativos móveis com React Native. O Expo ajuda no desenvolvimento rápido para Android e IOS, permitindo que o aplicativo funcione sem a necessidade de configuração complexa, pois já traz suas bibliotecas próprias além de oferecem uma forma de transferir e traduzir em tempo real o código desenvolvido em um celular, possibilitando testes podem ser feitos de forma instantânea, portanto, agilizando o processo.

Para a infraestrutura de backend, responsável pelo armazenamento dos dados, adotou-se o Firebase, plataforma de desenvolvimento de aplicativos criada pelo Google. Trata-se de um banco de dados não relacional (NoSQL) baseado em documentos que, conforme documentação técnica (Google Firebase, 2025), apresenta vantagens estratégicas para aplicações móveis: sincronização em tempo real, autenticação integrada e escalabilidade automática. Esta escolha fundamenta-se na redução de complexidade operacional, eliminando a necessidade de gerenciamento de infraestrutura dedicada, um fator crítico para microempreendedores com recursos limitados.

Quanto à integração com serviços logísticos, implementou-se a API do Melhor Envio, agregador de transportadoras no Brasil. Este recurso permite consultas simultâneas a múltiplas operadoras (no momento em que o trabalho foi realizado, um total de 14 serviços), retornando valores de frete, prazos e modalidades comparativas. Conforme especificações técnicas da plataforma, a requisição de cotações exige cinco parâmetros obrigatórios: CEP de origem e destino, medidas do pacote (altura, largura e comprimento em centímetros), peso real (em quilogramas) e valor declarado para seguro. Este último corresponde à avaliação de valor dos itens enviados, servindo como base para indenização em casos de extravio, mecanismo essencial para garantir a segurança das transações.

Entretanto, a API pública do Melhor Envio, única modalidade disponível, impõe um limite operacional de 250 requisições por minuto conforme sua política de uso. Essa restrição estrutural impacta diretamente a escalabilidade da solução durante simulações multidimensionais extensas. Quando o limite é excedido, cada solicitação adicional sofre um atraso superior a 60 segundos, comprometendo severamente a experiência do usuário devido à degradação progressiva do tempo de resposta. Essa limitação irá moldar algumas limitações para a aplicação no âmbito de quantas opções de cubagem da caixa serão sugeridas para o usuário.

2.5 ARQUITETURA E DESENHO DO SISTEMA

A arquitetura adotada para o protótipo foi concebida como um monolito móvel-first, isto é, a maior parte do processamento aplicacional ocorre no próprio cliente móvel, enquanto o servidor de backend assume responsabilidades limitadas ao armazenamento do histórico de consultas, autenticação e funções de orquestração leves. Essa opção privilegia simplicidade de desenvolvimento, implantação e manutenção para a escala deste estudo, favorecendo ciclos rápidos de iteração e reduzindo custos operacionais típicos de soluções distribuídas. Estudos e guias de arquitetura recomendam iniciar por um monolito bem modular quando a equipe é pequena e o objetivo é validar funcionalidade e hipóteses de negócio antes de fragmentar o sistema em serviços independentes.

A arquitetura do sistema foi concebida com foco na simplicidade operacional: a maior parte do processamento ocorre diretamente no aplicativo móvel, enquanto o backend fica restrito ao armazenamento do histórico das consultas. Essa organização foi adotada para reduzir a complexidade e os custos operacionais, permitindo testes e correções locais sem a necessidade de um servidor intermediário dedicado. Considerando o escopo deste projeto, voltado a uma solução desenvolvida e validada em ambiente de microempresa, essa configuração prioriza rapidez de desenvolvimento, facilidade de manutenção e menor custo de infraestrutura.

O volume típico de simulações geradas pelas variações dimensionais é da ordem de centenas por consulta; cada simulação pode retornar múltiplas cotações, fazendo com que o total agregado por operação alcance ordens de grandeza na casa dos milhares de entradas, dependendo das opções selecionadas. Em função dessa característica e das restrições impostas pela API agregadora utilizada, optou-se por desenhar mecanismos locais de controle de taxa e processamento em lotes, em vez de arquiteturas distribuídas mais complexas.

2.6 MODELO DE SIMULAÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS

A lógica central da aplicação baseia-se na simulação de múltiplas combinações de dimensões a partir de um pacote base, utilizando um intervalo de variação definido pelo usuário. Para facilitar a leitura, neste trabalho as medidas de itens serão apresentadas no formato (comprimento)x(largura)x(altura) e com as unidades em centímetros, para cada dimensão.

Em um exemplo prático, supondo que um item tenha medidas de 18x10x16 centímetros, o usuário pode realizar diversas simulações com apenas um clique para encontrar a caixa que melhor equilibre custo e proteção. Para isso, ele pode definir um intervalo adicional de até 5 centímetros em cada dimensão, sendo esse acréscimo exclusivamente positivo. Dessa forma, o aplicativo calcula todas as variações possíveis dentro desse limite e consulta as opções de envio correspondentes a cada uma delas.

Se o usuário selecionar um intervalo de acréscimo de até 5 centímetros em todas as dimensões, o software irá simular todas as combinações entre 18x10x16 e 23x15x21, resultando em 216 simulações (6^3). Cada uma dessas simulações é enviada à API do Melhor Envio, que retorna os valores de frete para diferentes transportadoras e serviços.

A escolha por oferecer até cinco centímetros de variação para cada dimensão para o usuário é reflexo direto da limitação imposta pela API do melhor envio, pois, como citado, o total de simulações feitas é de 216, o que se aproxima dos 250 oferecidos pelo Melhor Envio. Caso optássemos em subir somente um centímetro, chegando em seis para cada dimensão, chegaríamos em 343 simulações ou 7^3.

Lembrando que a base da potenciação é sete, por serem os seis centímetros adicionais mais o valor das dimensões originais inserida pelo usuário. Realizando as solicitações no limite estabelecido, o usuário espera somente 10 segundos para obter seus resultados, mas se passarmos do limite, teríamos que forçar o usuário a esperar mais um minuto, além do tempo original e do tempo das novas requisições

Em adição a isso, cada pacote, retorna vários orçamentos diferentes, pois cada um é simulado em diferentes transportadoras com diferentes serviços. Por exemplo, um pacote é simulado nos serviços da Azul Cargo, da Jadlog, Loggi, etc. e dentro de cada uma dessas empresas, temos diferentes tipos de serviços, como os Correios, que tem PAC, SEDEX e Mini Envios. Levando isso em conta, no estágio atual, cada simulação retorna 14 diferentes orçamentos, portanto, nesse caso seriam as 216 simulações multiplicadas por 14, retornando ao usuário 3024 diferentes opções.

Apesar das limitações impostas pela API agregadora, a estratégia adotada permite oferecer respostas rápidas e úteis. Na prática, a solução resulta em tempo de resposta compatível com a rotina do usuário e é suficientemente robusta para apoiar decisões de embalagem e frete.

3 RESULTADOS

O presente capítulo descreve e analisa os resultados decorrentes das etapas deste trabalho. Inicialmente são expostos os achados da pesquisa exploratória com lojistas, seguidos pelos resultados do experimento sistemático de simulações dimensionais que buscou identificar descontinuidades tarifárias. Em seguida, apresenta-se o desenvolvimento e os testes do protótipo de cotação em lote e, por fim, os achados da implantação operacional na empresa-piloto e limitações observadas. A organização dos resultados permite confrontar evidências qualitativas e quantitativas e fundamentar as discussões subsequentes.

3.1 OS PRINCIPAIS DESAFIOS NO FRETE

A primeira etapa do trabalho consistiu na pesquisa de campo com 10 lojas que atuam em vendas online de artigos de decoração, o segmento do negócio familiar que originou este projeto. O objetivo foi identificar na prática as dificuldades enfrentadas por microempreendedores no momento da cotação e do envio das mercadorias. Dos entrevistados, 44% relataram utilizar plataformas agregadoras; os demais realizam cotações diretamente com transportadoras ou com os Correios. Observou-se ainda que mais de 77% não possuem padronização nas caixas, utilizando frequentemente embalagens reaproveitadas e adaptadas a cada venda. Apenas uma minoria trabalha com tamanhos padronizados de forma consistente.

As respostas qualitativas mostram um quadro heterogêneo em relação à estratégia logística adotada. Um dos entrevistados afirmou “trabalhamos com várias transportadoras”, enquanto outro resumiu “enviamos pelos Correios”. Também houve quem dissesse “uso a plataforma” de agregação e quem optasse por um único parceiro por questão de custo e rotina. Em relação às embalagens, várias vozes disseram “adequamos as caixas a cada pedido” e “toda nossa embalagem é feita com aproveitamento de caixas e isopor”, ao passo que uma parcela menor declarou ter padrões fixos, como “temos três tamanhos de caixas”.

Sobre a percepção de variações inesperadas no preço por pequenas alterações dimensionais, as opiniões divergem. Alguns lojistas relataram “já tivemos casos parecidos” ou comentaram que “acontece com menos frequência, mas às vezes essas divergências ocorrem”, enquanto outros afirmaram “não, nunca aconteceu”. Também apareceu a observação de que o valor pode oscilar ao longo do dia, indicando que uma cotação “feita de manhã pode apresentar outro valor algumas horas depois”. Em suma, embora nem todos tenham observado saltos tarifários frequentes, um número relevante percebeu que, em certas combinações de dimensões e serviços, pequenas variações podem gerar diferenças de preço relevantes.

Esses depoimentos ajudam a explicar os resultados quantitativos coletados. A falta de padronização de embalagens, somada à diversidade de práticas entre lojistas, como uso de múltiplas transportadoras, dependência de caixas reaproveitadas ou preferência por um serviço único, torna a escolha da embalagem ideal um processo trabalhoso e sujeito a incertezas. Como resumiu um participante, “cada caixa depende do produto”. Nos casos em que a loja dispõe de caixas padrão, as cotações tendem a ser mais previsíveis. Isso reforça a importância de ferramentas que permitam comparar cenários dimensionais antes da finalização da venda.

Diante desse contexto, as respostas colhidas confirmam a necessidade de uma solução que automatize e torne transparente a relação entre dimensão, tipo de embalagem e custo do frete. A ferramenta proposta por este trabalho aparece como um recurso capaz de reduzir o esforço manual,

diminuir a incerteza na escolha da embalagem e apoiar microempreendedores na tomada de decisões mais informadas e econômicas.

3.2 RESULTADOS DA ANÁLISE DE PADRÕES EM COTAÇÕES DE FRETE

Após a realização da pesquisa com os comerciantes, foi realizada a pesquisa descrita no capítulo 2.3, um experimento sistemático com o objetivo explícito de identificar padrões de sensibilidade dimensional e eventuais descontinuidades tarifárias, isto é, faixas de volume nas quais pequenas variações nas medidas do pacote provocam saltos significativos no preço do frete. Para isso, foi desenvolvido um programa utilizando Python que realiza simulações com variações de 1 à 50 cm em cada dimensão, mantendo-se fixos o peso em 0,5 kg e o valor segurado em R$ 50,00. Cada combinação foi consultada em oito serviços de frete distintos e todo o conjunto de testes foi repetido em três rotas para reduzir vieses regionais. Foram elas:

- Santa Maria (Rio Grande do Sul) → Araguaína (Tocantins);
- Santa Maria (Rio Grande do Sul) → Piracicaba (São Paulo);
- Porto Alegre (Rio Grande do Sul) → São Paulo (São Paulo).

O número total de simulações pode ser expresso pela seguinte fórmula (2):

$$\textbf{Total de rotas} = (\textbf{largura} * \textbf{altura} * \textbf{profundidade}) * \textbf{serviços} * \textbf{rotas} \quad (2)$$

$$(49^3) * 8 * 3 = 2.823.576$$

O programa de coleta de dados pode ser visto em funcionamento da Figura 02 a seguir:

O programa de coleta de dados pode ser visto em funcionamento da Figura 02 a seguir:

```
Progresso: 0.27% | Simulação 336/125000 | Dimensões: 1x7x36 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 45.1 horas
Progresso: 0.27% | Simulação 337/125000 | Dimensões: 1x7x37 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 45.1 horas
Progresso: 0.27% | Simulação 338/125000 | Dimensões: 1x7x38 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 45.1 horas
Progresso: 0.27% | Simulação 339/125000 | Dimensões: 1x7x39 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 45.1 horas
Progresso: 0.27% | Simulação 340/125000 | Dimensões: 1x7x40 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 45.1 horas
Progresso: 0.27% | Simulação 341/125000 | Dimensões: 1x7x41 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 45.1 horas
Progresso: 0.27% | Simulação 342/125000 | Dimensões: 1x7x42 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 45.0 horas
Progresso: 0.27% | Simulação 343/125000 | Dimensões: 1x7x43 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 45.0 horas
Progresso: 0.28% | Simulação 344/125000 | Dimensões: 1x7x44 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 45.1 horas
Progresso: 0.28% | Simulação 345/125000 | Dimensões: 1x7x45 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 45.1 horas
Progresso: 0.28% | Simulação 346/125000 | Dimensões: 1x7x46 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 45.1 horas
Progresso: 0.28% | Simulação 347/125000 | Dimensões: 1x7x47 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 45.0 horas
Progresso: 0.28% | Simulação 348/125000 | Dimensões: 1x7x48 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 45.0 horas
Progresso: 0.28% | Simulação 349/125000 | Dimensões: 1x7x49 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 45.0 horas
Progresso: 0.28% | Simulação 350/125000 | Dimensões: 1x7x50 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 45.1 horas
Progresso: 0.28% | Simulação 351/125000 | Dimensões: 1x8x1 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 45.1 horas
Progresso: 0.28% | Simulação 352/125000 | Dimensões: 1x8x2 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 45.0 horas
Progresso: 0.28% | Simulação 353/125000 | Dimensões: 1x8x3 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 45.0 horas
Progresso: 0.28% | Simulação 354/125000 | Dimensões: 1x8x4 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 44.9 horas
Progresso: 0.28% | Simulação 355/125000 | Dimensões: 1x8x5 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 44.9 horas
Progresso: 0.28% | Simulação 356/125000 | Dimensões: 1x8x6 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 44.9 horas
Progresso: 0.29% | Simulação 357/125000 | Dimensões: 1x8x7 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 44.9 horas
Progresso: 0.29% | Simulação 358/125000 | Dimensões: 1x8x8 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 45.0 horas
Progresso: 0.29% | Simulação 359/125000 | Dimensões: 1x8x9 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 44.9 horas
Progresso: 0.29% | Simulação 360/125000 | Dimensões: 1x8x10 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 44.9 horas
Progresso: 0.29% | Simulação 361/125000 | Dimensões: 1x8x11 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 44.9 horas
Progresso: 0.29% | Simulação 362/125000 | Dimensões: 1x8x12 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 45.0 horas
Progresso: 0.29% | Simulação 363/125000 | Dimensões: 1x8x13 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 45.0 horas
Progresso: 0.29% | Simulação 364/125000 | Dimensões: 1x8x14 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 45.0 horas
Progresso: 0.29% | Simulação 365/125000 | Dimensões: 1x8x15 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 44.9 horas
Progresso: 0.29% | Simulação 366/125000 | Dimensões: 1x8x16 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 44.9 horas
Progresso: 0.29% | Simulação 367/125000 | Dimensões: 1x8x17 | Status: 14 serviços salvos | Tempo restante: 44.9 horas
```

Fonte: Autor

Apesar do elevado número de simulações e da repetição em diferentes cenários, é importante ressaltar as limitações deste estudo: as conclusões derivam de um recorte temporal e geográfico específico e, portanto, não mapeiam permanentemente as regras tarifárias de cada transportadora. Tarifas e políticas podem variar por região, sazonalidade ou atualizações comerciais. Além disso, fatores operacionais ou mudanças na API agregadora podem alterar os resultados observados. Em suma, os resultados aqui apresentados servem para evidenciar tendências e pontos críticos de sensibilidade dimensional, mas exigem manutenção e validações adicionais em outras janelas temporais e rotas antes de serem generalizadas como regras fixas de precificação.

A relação de empresas e serviços testados é a apresentada no Quadro 02:

Quadro 02 - Empresas e serviços usados na pesquisa

Empresa	**Serviço(s)**
Correios	Pac e Sedex
Jadlog	.Com e .Package
Azul Cargo Express	Expresso e e-commerce
Loggi	Express
J&T	Standard

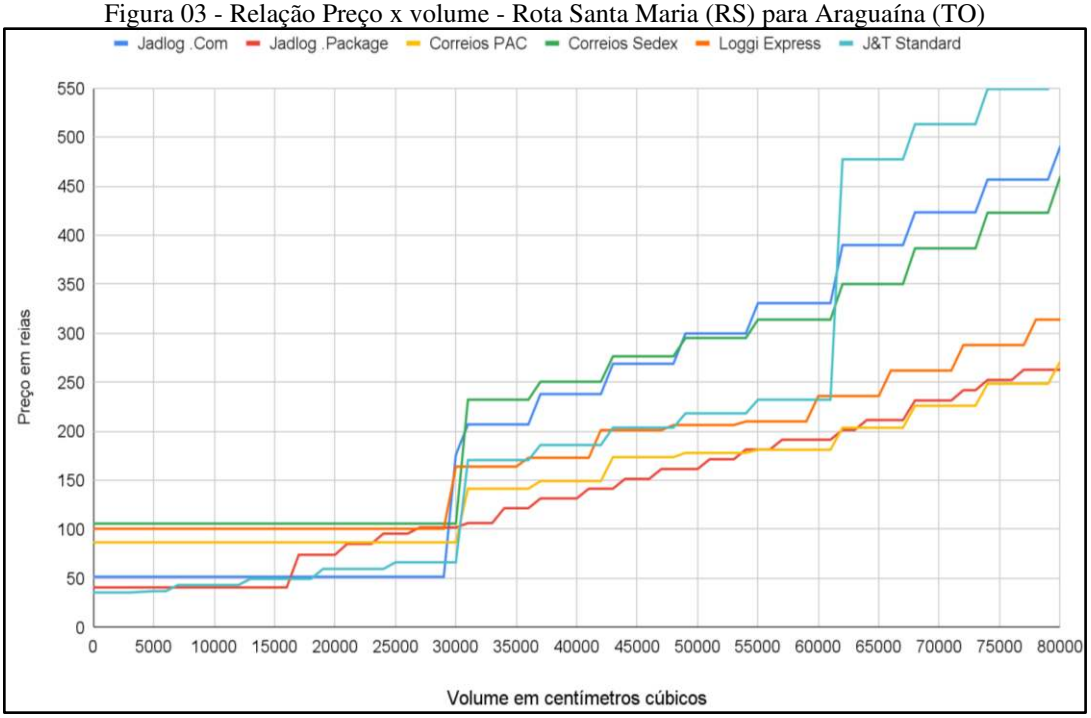
Fonte: Autor

Dos oito serviços avaliados, foram plotados apenas aqueles que apresentaram relação direta e comparável entre preço e volume em cada cenário, de modo a preservar a clareza das tendências visuais. Serviços que não mantiveram essa relação foram excluídos das figuras exclusivamente por esse motivo: constatou-se que combinações de dimensões distintas, mas com volumes idênticos, retornavam preços diferentes nesses serviços, o que inviabiliza uma interpretação consistente preço-volume quando agrupados com os demais.

Outra observação a ser feita é a de que o gráfico foi limitado a 80.000 cm³, embora as simulações tenham atingido cerca de 120.000 cm³. Adotou-se esse recorte para preservar a legibilidade: além de 80.000 cm³ os preços apresentam o mesmo padrão observado na faixa anterior, de modo que incluir os pontos restantes comprimiriam a escala e prejudicariam a visualização das oscilações relevantes.

A Figura 03 representa a variação dos preços entre as cidades de Santa Maria (RS) e Araguaína (TO). Foi escolhido essa rota como um dos testes, pois foi justamente fazendo um frete para esse local que a ideia desse trabalho surgiu. O que chamou atenção naquele momento, foi o padrão dos preços da J&T por volta dos 60 mil cm³.

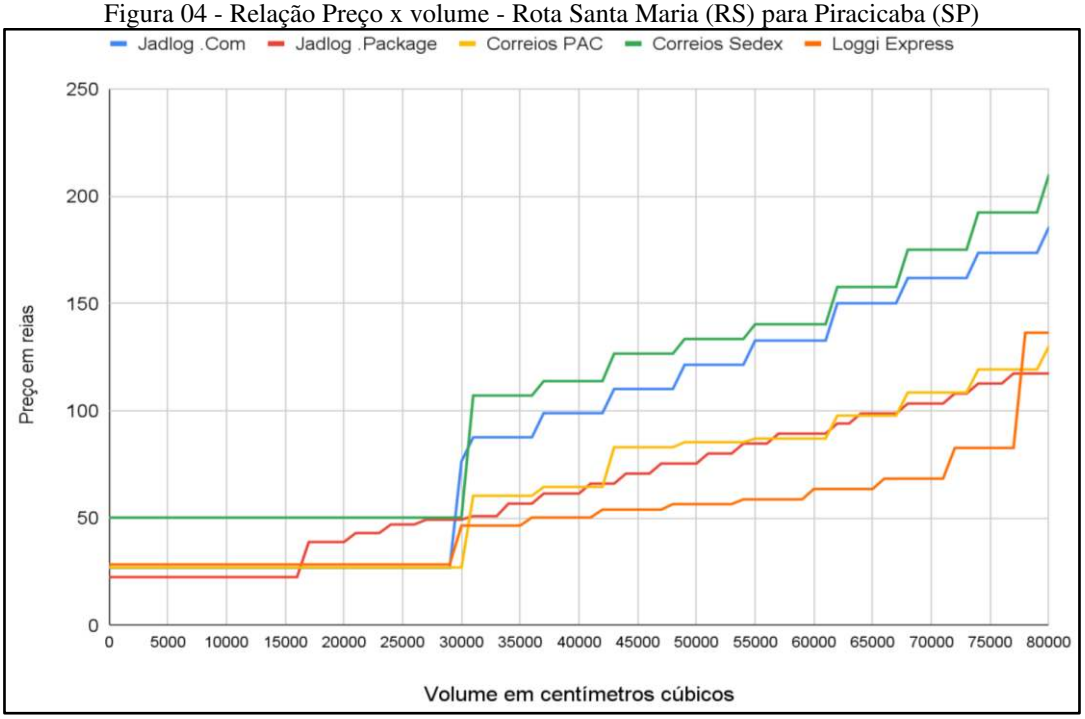
Figura 03 - Relação Preço x volume - Rota Santa Maria (RS) para Araguaína (TO)



Fonte: Autor

Da mesma maneira, na Figura 04 é apresentada a relação de preço entre as cidades de Santa Maria (RS) e Piracicaba (SP). A escolha por essas cidades se deu pelo fato de ligar a cidade da empresa-piloto com o interior de um grande estado do sudeste, região onde se encontra mais de 40% da população do país, conforme os dados do Censo 2022 do IBGE(2022), se espera que a maior parte dos possíveis compradores estejam já.

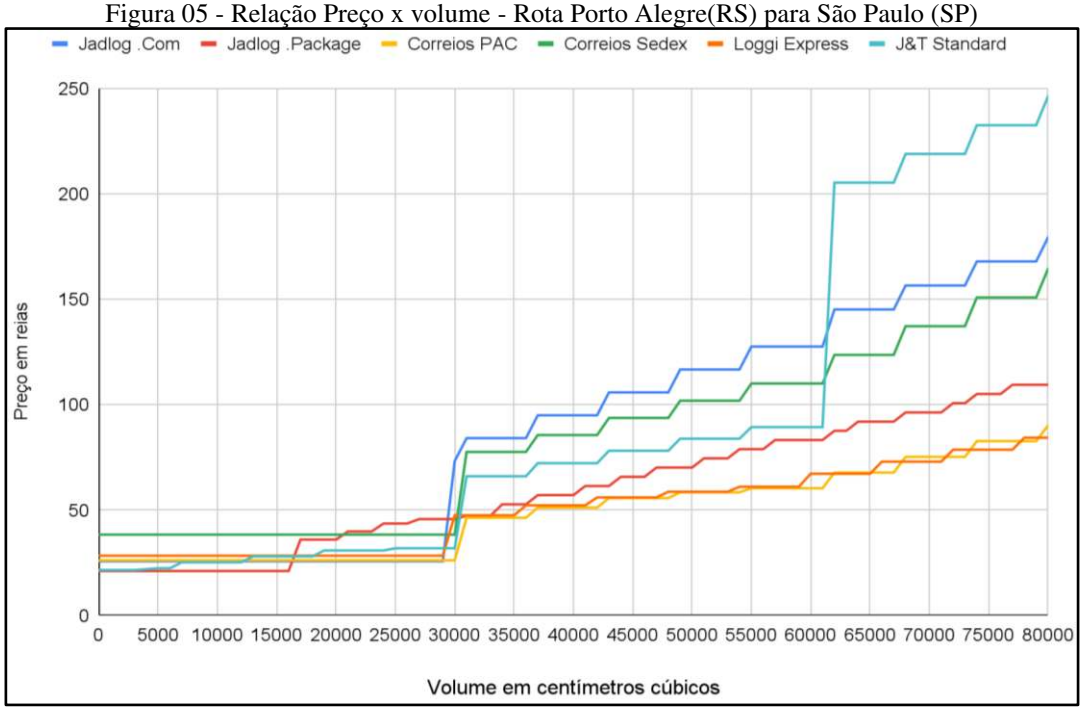
Figura 04 - Relação Preço x volume - Rota Santa Maria (RS) para Piracicaba (SP)



Fonte: Autor

Agora na Figura 05, é apresentado o preço, entre as cidades de Porto Alegre (RS) e São Paulo (SP). Essa escolha é justificada pela ideia de entender se existe alguma mudança significativa em rotas entre duas capitais de estados.

Figura 05 - Relação Preço x volume - Rota Porto Alegre(RS) para São Paulo (SP)



Fonte: Autor

Observa-se que todos os serviços analisados apresentam padrão semelhante: à medida que o volume dos produtos aumenta, seus preços também se elevam. Contudo, esse aumento não ocorre de forma totalmente gradual.

Os serviços ".Com" (Jadlog) e ambos os serviços dos Correios não sofreram nenhuma influência no preço quando o volume foi acrescido até a faixa dos 30000 cm³. Já o serviço ".Package", da mesma empresa, apresenta uma dinâmica diferente, pois seus valores começam a sofrer influência do volume a partir dos 16000 cm³.

Do início do gráfico até a faixa dos 30.000 cm³, muitos dos serviços apresentaram uma certa linearidade. Alguns se mantêm completamente estáveis no mesmo preço, já outros têm eventuais incrementos, mas muito diferente do que pode ser observado a partir desse ponto.

A maioria dos serviços apresenta uma tendência semelhante quando o volume ultrapassa os 30.000 cm³. Nessa faixa, o peso cubado (conceito apresentado no capítulo 2.2) tende a igualar ou superar o peso real, passando, então, a ser o critério utilizado para faturamento. A partir desse ponto, a variação do preço pode ser aproximada por uma relação linear entre preço e volume. A média observada nos serviços analisados pode ser representada pela Fórmula 02:

$$Preço\ do\ frete\ (R\$) = 0{,}00446 \times\ Volume(cm^3) + 4{,}41 \quad (02)$$

Observou-se também que a lógica tarifária pode variar conforme a rota. Um mesmo serviço que, em determinada rota, apresenta preços coerentes com o volume, em outra pode apresentar discrepâncias entre caixas de mesmo volume; por isso, o serviço Standard da J&T aparece nos cenários 1 e 3 e não no cenário 2, pois apresentou critérios de precificação divergentes: combinações como 4×4×4 cm, 2×4×8 cm e 1×8×8 cm, todas com 64 cm³, retornaram valores tarifários distintos. Esse resultado indica a presença de parâmetros adicionais à simples cubagem, como limites mínimos por aresta, faixas dimensionais ou regras locais, o que dificulta modelar a precificação apenas pelo volume.

Esses pontos em conjunto, demonstram que, apesar de todos os serviços seguirem a lógica geral de quanto maior a caixa, maior o custo, pode ser percebido que cada uma segue um padrão único. Existem diversos outros serviços disponíveis no Melhor Envio e mesmo que todas as fórmulas de cálculo das transportadoras atualmente integradas fossem completamente mapeadas, o sistema continuaria sujeito a variações decorrentes do aparecimento de novas transportadoras e das mudanças nas políticas tarifárias.

Tais alterações podem ser dinâmicas, manifestando-se por região e em períodos específicos do dia, da semana ou do mês, ou ainda ocorrer de forma abrupta; por consequência, o mapeamento estabelecido na fase de concepção revela-se intrinsecamente inprecisa, exigindo revisões e manutenção contínuas.

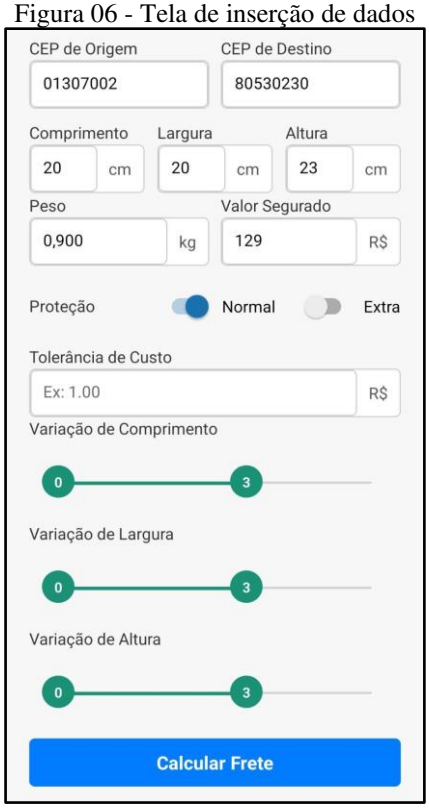
Por conta disso, torna-se inviável tentar prever o resultado de cada cotação com o intuito de diminuir o número de requisições. Por outro lado, abre-se a possibilidade de conscientizar os usuários sobre os métodos mais comuns utilizados pelas transportadoras no cálculo do frete e sobre boas práticas a serem consideradas no momento da montagem da embalagem.

3.3 RESULTADOS DO DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO

3.3.1 Inserção de Dados

Na Figura 06 a seguir, é apresentada a tela de inserção dos dados no frete. Nela são informados os essenciais para a cotação, como os CEP de destino e origem, as dimensões, o valor do seguro. Todos esses dados são comuns em toda plataforma de orçamento de frete. A principal diferença que temos é a adição das opções de variação de cada dimensão da caixa. Nessa ferramenta, é definido o intervalo de quantos centímetros o software irá adicionar em relação às dimensões originais. O usuário pode adicionar de 0 até 5 centímetros para cada dimensão por conta de limitações atuais da API.

Figura 06 - Tela de inserção de dados



Fonte: Autor

3.3.2 Geração das Combinações Dimensionais

A geração das combinações produz o conjunto de pacotes candidatos a partir das medidas base e dos limites de variação escolhidos pelo usuário. Na implementação, optou-se por incluir sempre a variação 0 (para conservar a opção original) e por iterar apenas sobre os valores necessários.

Do ponto de vista prático, as decisões relevantes foram:limitar o intervalo máximo de variação, para evitar que o sistema gere combinações demais;calcular antecipadamente o total estimado de requisições e apresentar esse número ao usuário; proteger contra entradas inválidas/extremas antes de iniciar o processamento. Essas escolhas reduzem a imprevisibilidade operacional e permitem ao usuário optar por um modo mais enxuto ou mais completo.

3.3.3 Envio De Requisições à API do Melhor Envio

Após o usuário confirmar os dados, o sistema gera todas as combinações dimensionais dentro do intervalo definido e inicia a etapa de consulta ao agregador Melhor Envio. Para evitar exceder o limite de requisições da API e ao mesmo tempo manter a experiência responsiva, as combinações são divididas em lotes , equilibrando paralelismo e controle de taxa. O aplicativo acompanha as chamadas realizadas no último minuto; quando esse contador atinge o limite configurado, o envio é temporariamente pausado até que seja seguro retomar, respeitando as restrições da API.

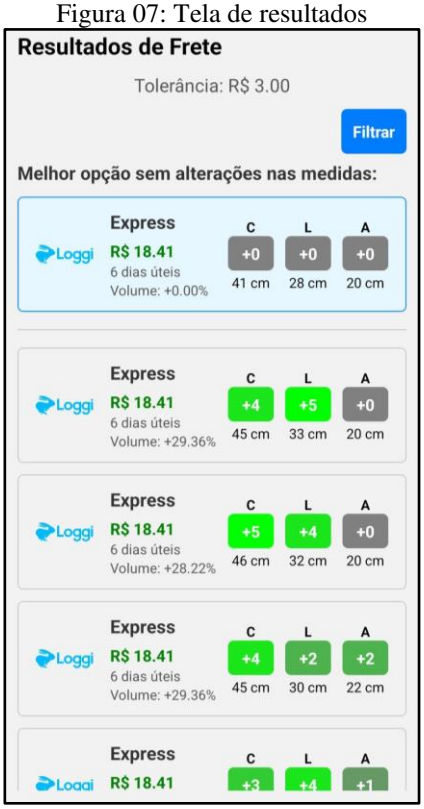
Ao receber as respostas de cada lote, o sistema agrega os orçamentos e calcula métricas auxiliares, como ganho percentual de volume e prazo estimado. Em seguida os resultados são

ordenados segundo os critérios definidos (custo, tolerância e distribuição da variação) e a consulta é persistida no Firebase para histórico e possível reuso.

3.3.4 Apresentação dos Orçamentos Calculados

Na próxima Figura 07 pode-se ver o resultado da pesquisa feita na Figura 02. Para demonstração, foi realizada uma simulação de orçamento para um pacote com as dimensões de 41x28x20 com variações de 5 centímetros de acréscimo em todas as dimensões.

Figura 07: Tela de resultados



Fonte: Autor

Na rotina operacional, o tempo médio para processar todas as variações dimensionais (ex.: 216 combinações) e retornar os 3.024 resultados é de aproximadamente 10 segundos, considerando conexões estáveis. Essa eficiência é crítica para a usabilidade, ao manter a agilidade da operação.

A primeira opção da lista é o orçamento mais econômico usando os dados informados, sem nenhuma variação, para o usuário poder ter um parâmetro de comparação.

Na sequência, seguem todas as outras simulações. Como mencionado anteriormente, nesse caso, onde se é requisitado uma variação bem grande, temos mais de 3 mil resultados. Esses resultados, são apresentados em uma ordem crescente, de mais barato para mais caro, sendo o critério de desempate, a caixa com maiores medidas. Desse modo serão mostradas, preferencialmente, caixas que são mais baratas, sem reduzir tanto o tamanho delas.

Além desse critério para determinar quais devem ser exibidas com preferência, também foi definido um terceiro quesito de desempate: o de valorizar caixas que tem seus centímetros extra mais bem distribuídos, ou seja, sua proteção mais igualmente disposta. Nesse caso, uma caixa que adiciona 2 centímetros em todos os lados, é mais valorizada que uma caixa que coloca 3 centímetros em somente dois deles e nada em um dos lados.

Esse último método, se mostrou necessário, pois sem ela, o software daria mais destaque para caixas que, em boa parte dos casos, não serviram tão bem o propósito de proteger o produto, pois deixavam pontos muito mais fragilizados que outros.

Para auxiliar a escolha por parte do usuário, são apresentados em cada item:

- Nome do serviço;
- Preço cobrado por aquelas medidas;
- Prazo estimado do transporte;
- Medida de cada dimensão e o acréscimo em relação ao tamanho original;
- Volume ganho em relação ao original inserido pelo usuário.

3.3.5 Filtros

O usuário também pode fazer o uso de alguns filtros, vistos na Figura 08 a seguir. Os filtros, possibilitam moldar os resultados obtidos, mesmo após a lista já tenha sido apresentada. Essas opções dão a oportunidade ao usuário ajustar os parâmetros para atender exatamente ao que ele necessita, mesmo que os se apresentem novas questões durante o processo de planejamento e confecção da embalagem. Os filtros disponíveis são os seguintes:

Figura 08 - Tela de Filtros



Fonte: Autor

Mostrar Indisponíveis: Esse filtro, por padrão, é definido como desativado. Nesse modo, ele oculta os resultados de fretes que estão indisponíveis, seja porque não atendem na região de origem ou destino, ou porque não suportam pacotes nas dimensões informadas.

Tolerância: O usuário pode alterar a tolerância mesmo após já ter os resultados, interferindo a ordem em que eles serão exibidos conforme a tolerância à diferença de preço escolhida

Prazo máximo de chegada: Possibilita ao usuário, descartar serviços que ultrapassem um prazo determinado.

Transportadoras: Uma lista com as transportadoras disponíveis, onde o usuário pode ativar ou desativar a relação delas na tela de resultados (Figura 03).

Intervalos de variação: São as mesmas funções vistas na tela de cálculo de frete, visto na Figura 02. Nessas barras, o usuário pode limitar mais o resultado já obtido durante a cotação.

3.3.6 Histórico

A tela de Histórico, apresentada na Figura 09, centraliza todas as simulações realizadas pelo usuário, transformando consultas anteriores em um repositório útil para análise, reaplicação e tomada de decisão. O histórico é apresentado como uma lista ordenada por data (mais recente primeiro), permitindo ao usuário localizar rapidamente cotações passadas.

Figura 09 - Tela de Histórico



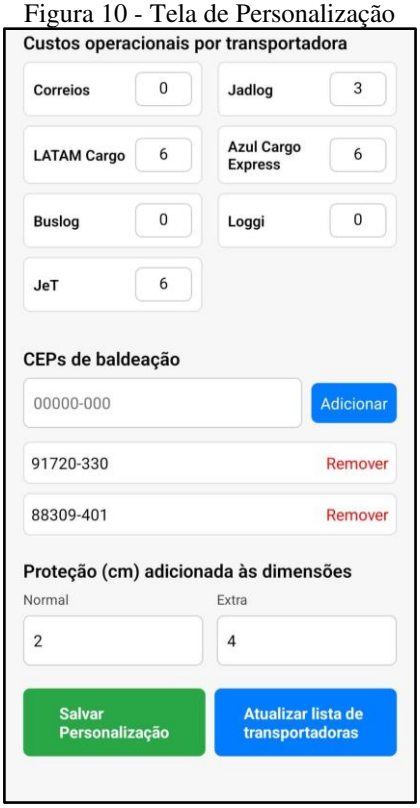
Fonte: Autor

Ao tocar em um item do histórico, o sistema exibe um modal de confirmação perguntando se o usuário realmente deseja carregar os dados daquela simulação no formulário. Se o usuário confirmar, os campos da tela de inserção são preenchidos automaticamente com os parâmetros da consulta na tela de inserção de dados.

3.3.7 Personalização do Usuário

Buscando oferecer uma experiência alinhada às necessidades operacionais de cada usuário, o sistema permite a personalização de diversos parâmetros que influenciam diretamente o cálculo final dos fretes. Essas opções podem ser vistas na Figura 10.

Figura 10 - Tela de Personalização



Fonte: Autor

Uma das possibilidades é a definição de custos operacionais específicos por transportadora, representando despesas reais como deslocamentos até pontos de coleta, aquisição de embalagens diferenciadas ou pequenas taxas locais. Durante as simulações, esse valor personalizado é automaticamente somado ao frete base retornado pela API, produzindo estimativas mais fiéis ao cenário cotidiano. Assim, um frete da Jadlog que inicialmente pareceria vantajoso, como no caso de R$ 28,90, pode tornar-se a opção mais onerosa ao receber o acréscimo de um custo operacional de R$ 12,00, totalizando R$ 40,90. Da mesma forma, um frete de R$ 37,00 dos Correios, acrescido de um custo de R$ 4,50, resulta em R$ 41,50, o que evidencia como pequenas variações nesses valores podem alterar a ordem de preferência entre os serviços.

Além disso, o sistema possibilita o cadastro de CEPs adicionais que serão utilizados pela função de baldeação. Esses CEPs funcionam como pontos intermediários que podem ser considerados automaticamente durante as simulações, permitindo ao usuário explorar rotas alternativas que, dependendo das distâncias e transportadoras envolvidas, podem reduzir custos.

Também está disponível a configuração de valores extras aplicados a embalagens classificadas pelo próprio usuário como padrão ou sensíveis no momento da inserção dos dados. Esses acréscimos são incorporados de forma automática ao cálculo final, garantindo que as simulações reflitam não apenas o custo do frete, mas também os gastos reais associados à preparação e proteção do produto enviado.

Em conjunto, esses mecanismos de personalização tornam o sistema mais flexível e representativo das condições de operação de pequenos e médios e-commerce, proporcionando resultados mais precisos e úteis para a tomada de decisão logística.

3.3.8 Baldeação

Baldeação aqui significa enviar uma encomenda primeiro para uma cidade intermediária e, a partir dessa cidade, reenviar o pacote para o destino final. A ideia é verificar se dividir o trajeto em dois trechos pode reduzir o custo total do frete. No meio de transporte, o ato de transferir encomendas de uma transportadora para outra pode ser chamado de "despacho", e é muito comum em casos onde a transportadora contratada originalmente não atende diretamente todo o percurso, levando-se em conta que o redespacho consiste na terceirização de parte do serviço de transporte por meio da contratação de outra empresa para realizar um trecho específico, permitindo reduzir custos e manter a eficiência operacional do processo logístico (LIMA, 2021).

Para testar essa hipótese, foi desenvolvido um script que monta trajetos com três CEPs: origem, baldeação (intermediário) e destino usando como base, um banco de CEPs de cada município brasileiro. O programa compara o preço do envio direto com a soma dos preços do envio via intermediário. Nos testes utilizou-se um pacote de 10x10x10 cm com 1 kg e foram geradas mais de 60 mil combinações aleatórias de rotas, buscando situações reais em que a baldeação poderia ser vantajosa.

Os resultados mostraram que, em diversos casos, a baldeação reduz significativamente o custo. Um exemplo prático identificado: enviar de Pé De Serra/BA para Palmeirópolis/TO tinha como opção direta mais barata um serviço dos Correios por R$ 89,17 (prazo 28 dias) ou uma Jadlog por R$ 134,88 (prazo 13 dias). Fazendo a baldeação por Pouso Alegre/MG, o custo total caiu para R$ 66,35 com prazo estimado de 15 dias. Nesse caso, o trajeto foi dividido em dois: Pé De Serra para Pouso Alegre (Azul Cargo Express, R$ 24,68, 4 dias) e Pouso Alegre para Palmeirópolis (J&T Standard, R$ 41,67, 11 dias).

Outros exemplos coletados no experimento seguem a mesma lógica: em locais de menor alcance das transportadoras, enviar primeiro para um polo logístico maior permite acessar serviços mais baratos ou mais eficientes, reduzindo o custo total mesmo com a duplicação das rotas. No conjunto de testes, as economias variaram bastante, chegando a dezenas de reais em muitos casos, como pode ser observado no Quadro 03.

Quadro 03 - Exemplos de baldeações

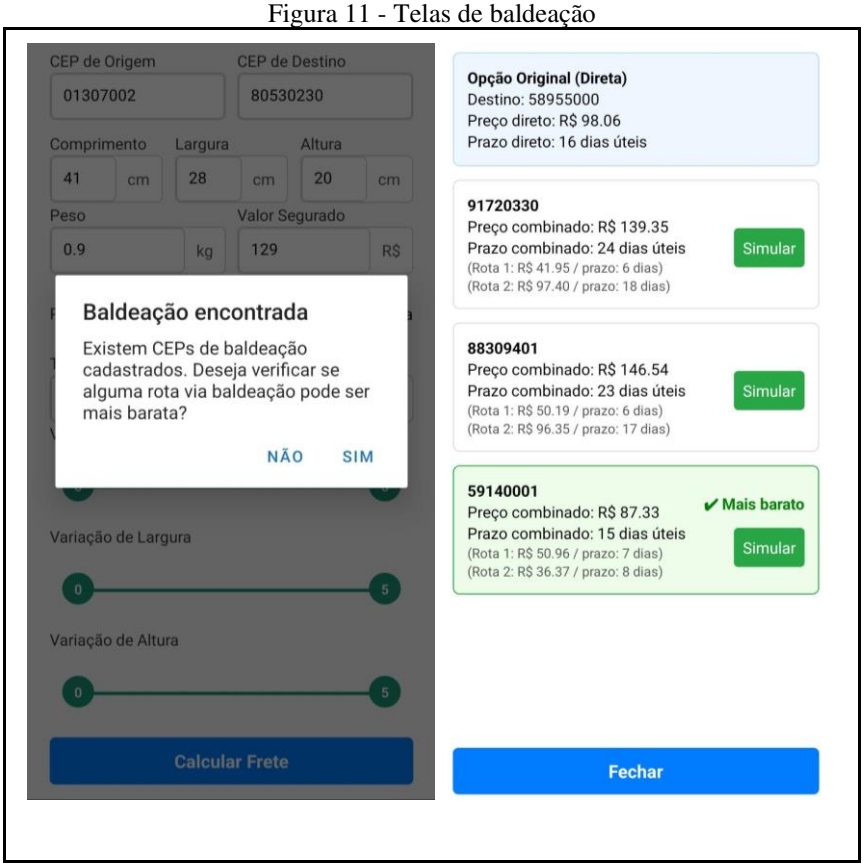
CEP			Direto		Pela baldeação		**Economia**	
Origem	Baldeação	Destino	Custo	Dias	Custo	Dias	**De custo**	**De dias**
36165000	59140001	58955000	R$ 89,17	20	R$ 44,94	11	**R$ 44,23**	**9**
87555000	13220001	49550000	R$ 89,17	17	R$ 46,44	13	**R$ 42,73**	**4**
68470000	35500001	36235000	R$ 89,17	23	R$ 49,68	17	**R$ 39,49**	**6**
65274000	6550000	73860000	R$ 89,17	21	R$ 49,97	16	**R$ 39,2**	**5**
58920000	95185000	6950000	R$ 89,17	13	R$ 52,78	11	**R$ 36,39**	**2**
84240000	12940970	62660000	R$ 83,17	15	R$ 47,6	14	**R$ 35,57**	**1**
97280000	13280001	48770000	R$ 89,17	16	R$ 53,63	14	**R$ 35,54**	**2**
12620000	65138000	64875000	R$ 83,63	21	R$ 48,41	20	**R$ 35,22**	**1**
95750000	13560001	76390000	R$ 89,17	17	R$ 54,59	16	**R$ 34,58**	**1**
78293000	89110001	39455000	R$ 89,17	14	R$ 55,03	11	**R$ 34,14**	**3**

Fonte: Autor

Essas situações ocorrem principalmente porque nem todas as transportadoras atendem todas as cidades, e os preços e serviços disponíveis mudam conforme a localidade. A baldeação pode ser vantajosa quando o ponto intermediário oferece acesso a um serviço mais barato ou mais competitivo do que o disponível localmente.

Com base nesses achados, a solução implementada no aplicativo passou a oferecer ao usuário a opção de cadastrar CEPs de pontos de baldeação (por exemplo, pontos de retirada ou cidades onde o lojista tem facilidade logística). Ao ativar a baldeação, o sistema testa automaticamente envios via esses CEPs e apresenta ao usuário quando a alternativa é mais econômica, mostrando preço final e prazo total.A funcionalidade pode ser vista na Figura 11.

Figura 11 - Telas de baldeação



Fonte: Autor

Apesar do potencial de economia, a baldeação tem limitações práticas que precisam ser consideradas: demanda logística adicional (receber e reenviar a encomenda), possível aumento do tempo total de entrega e custos operacionais extras (manuseio, deslocamento até pontos de repostagem). Além disso, essa estratégia também introduz riscos adicionais no processo logístico, pois o pacote passa por mais etapas de manipulação e transferência, aumentando a probabilidade de extravio, atrasos ou danos ao produto. Por isso, a ferramenta recomenda a baldeação como uma opção a ser avaliada apenas quando a economia obtida compensar esses custos operacionais e os riscos envolvidos.

Em resumo, a baldeação mostrou-se uma alternativa válida em muitos cenários testados, principalmente para destinos pouco atendidos e para usuários que possuem estrutura logística ou parceiros confiáveis na cidade intermediária, capazes de reduzir os riscos associados a esse tipo de operação.

3.4 RESULTADOS DA IMPLANTAÇÃO DA SOLUÇÃO

Atualmente, a ferramenta encontra-se implantada e em uso operacional na microempresa familiar mencionada anteriormente, uma vez que meu envolvimento direto no negócio possibilitou sua implementação e acompanhamento contínuo. Replicar a solução em outras unidades sem esse nível de

supervisão seria improvável, pois dificilmente essas lojas se disporiam a autorizar a coleta dos dados operacionais necessários para parametrizar e validar o sistema.

Durante sessenta dias de validação em ambiente real, o sistema permitiu inserir as dimensões dos itens e simular combinações de embalagem, auxiliando na identificação de alternativas que conciliam maior proteção com menor custo de frete. A versão em uso é restrita à empresa-piloto e ainda está em desenvolvimento: não dispõe de autenticação individual, o que impede a segregação dos dados entre usuários distintos de forma totalmente validada.

Durante o período de uso prático observou-se que em consultas o tempo médio para geração e apresentação dos orçamentos permaneceu em torno de 10 segundos, o que é um desempenho compatível com a rotina de atendimento e que favoreceu decisões rápidas sem a necessidade de longas consultas manuais. A interface de resultados, com mecanismos de filtragem e ordenação, mostrou-se adequada para navegar entre o grande volume de opções retornadas, permitindo ao usuário identificar alternativas vantajosas de forma direta.

Em termos econômicos e de proteção da mercadoria, a ferramenta comprovou sua utilidade prática. Foram identificados casos concretos de redução de custo por envio, vários de dezenas de reais. Além disso, a possibilidade de avaliar pequenas variações dimensionais sistematicamente contribuiu para escolher embalagens que aumentassem a segurança do produto sem implicar aumento proporcional do frete, ou seja, favorecer alternativas que preservam a integridade da mercadoria quando economicamente viáveis. A proprietária relatou que “[...] a ferramenta facilita ver rapidamente as opções que protegem melhor a mercadoria sem elevar muito o custo”, indicando ganho de confiança na tomada de decisão.

Foram também identificadas limitações importantes: a dependência da API agregadora impõe restrições operacionais em cenários de massiva escala, o que não afeta o foco definido inicialmente. Outro ponto é que a viabilidade prática de baldeação depende de infraestrutura (pontos de recebimento e capacidade de repostagem do pacote) e custos operacionais adicionais que precisam ser ponderados.

De forma geral, a implantação prática validou o conceito e evidenciou ganhos claros em agilidade nas decisões, potencial de economia por envio e maior segurança na escolha de embalagens. Esses resultados justificam a continuidade do desenvolvimento e a realização de testes mais amplos para consolidar sua aplicabilidade a outros pequenos empreendimentos.

4 CONCLUSÃO

Atendendo ao objetivo de desenvolver e avaliar uma solução de cotação em lote para simulações de frete por variação dimensional, este trabalho projetou, implementou e validou um protótipo aplicado em ambiente real de uma microempresa familiar. As evidências coletadas são essencialmente qualitativas. Percepções dos responsáveis pela operação e relatos de uso indicam

redução de desperdícios em fretes, melhor aproveitamento das cotações geradas e maior clareza na tomada de decisão sobre embalagens e roteirização em cenários com variação dimensional.

Como contribuição, o estudo apresenta um procedimento sistemático para geração de combinações dimensionais aplicável em simulações de frete, um protótipo funcional integrado ao fluxo operacional da empresa-piloto e uma análise crítica dos requisitos técnicos e contratuais necessários para comercialização.

A solução desenvolvida apresenta potencial para comercialização, desde que acompanhada de aprimoramentos técnicos e contratuais. Para ser oferecida como produto, é necessário implementar autenticação, isolamento de dados por usuário, gestão de tokens de API caso siga utilizando o agregador Melhor Envio, controle de consumo por conta e mecanismos de auditoria. Sem esses elementos, não é possível garantir privacidade, segurança nem oferecer planos pagos com limites claros de uso.

Outro aspecto crítico é a dependência de um agregador de fretes. Para viabilizar a operação comercial, é preciso decidir entre negociar cotas e licença com o provedor atual ou integrar-se diretamente com transportadoras. Qualquer uma dessas alternativas exigirá infraestrutura disponível 24 horas por dia, com processamento em filas, monitoramento, planos de contingência, revisão contratual e adequação à LGPD. Também é necessário definir um modelo de negócio que considere custos de API e infraestrutura, como planos por assinatura, créditos ou faixas de uso.

Seguir utilizando o Melhor Envio em um produto comercial só seria viável mediante acordo que permita uso multiusuário e cotas compatíveis. Por outro lado, negociar integrações diretas com cada transportadora aumenta a complexidade operacional, pois implica gerir múltiplos contratos e os fluxos de compra das etiquetas. Em razão desses desafios técnicos, contratuais e operacionais, transformar o protótipo em produto comercial ainda depende de etapas adicionais e negociações para sua viabilização. Enquanto isso, o software desenvolvido segue em uso frequente na empresa-piloto.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Instrução Suplementar nº 175-003. *Instrução Suplementar*, São Paulo, 2024.

AGILE BUSINESS CONSORTIUM. DSDM Project Framework. *DSDM Project Framework*, [s.l.], 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE COMÉRCIO ELETRÔNICO — ABComm. Indicadores: números de lojas online. *ABComm — Indicadores*, São Paulo, 2025.

BIGDATACORP. Perfil do e-commerce brasileiro: 10ª edição. *BigDataCorp — Relatório*, [s.l.], 2024.

E-COMMERCE BRASIL. Mercado Livre encerra operações da Kangu. *E-commerce Brasil — Notícias*, [s.l.], 2025.

EXPO. Expo Documentation. *Expo Documentation*, [s.l.], 2025.

GOOGLE. Firebase: documentação de desenvolvedor. *Firebase Documentation*, [s.l.], 2025.

KLING, J. A.. Dimensional weight pricing in transportation and logistics. *Repositório/Artigo técnico*, [s.l.], 2018.

LIMA, Daianna Costa. Análise da terceirização no setor logístico: caracterização do redespacho e modalidades. *TCC (UFT)*, Araguaína, 2021.

MELHOR ENVIO. Introdução API Melhor Envio. *Melhor Envio — Documentação*, [s.l.], 2025.

MENEGHETTI, Antonio. Psicologia empresarial. *Livro*, São Paulo, p. 431-468, 2013.

NTC&LOGÍSTICA. Manual de Cálculo de Custos e Formação de Preços do Transporte Rodoviário de Cargas - 2014. *Manual NTC&Logística*, [s.l.], 2014.

SALVADOR, Fabio Henrique. Métodos ágeis no desenvolvimento de software e seus impactos no alinhamento entre tecnologia da informação e negócios. *Tese (USP)*, São Paulo, 2025.

SILVA, Alexandre Morais de Oliveira. Envio Fácil: plataforma web para cálculo de frete e indicação de transportadoras de encomendas na sua região. *Monografia (UFOP)*, João Monlevade–MG / Ouro Preto, 2023.

SILVA, Allan Patrick da; GUIMARÃES, Luciana Maria. A Inserção da Inteligência Artificial na logística: implicações para a eficiência operacional e a competitividade na cadeia de suprimentos. *Revista Tópicos*, [s.l.], 2025.

STACK OVERFLOW. 2024 Developer Survey. *Stack Overflow — Survey*, [s.l.], 2024.
IBGE. Censo 2022. *IBGE — Estatísticas*, [s.l.], 2022.