

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO TOCANTINS – UNITINS
CAMPUS DE PALMAS
CURSO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO
OTIMIZAÇÃO PARA SISTEMAS**

**Italo Emmanuel Beckman
Matheus Alexandre Ferreira Nardi**

**Uma aplicação do Método Simplex na tomada de
decisão entre aquisição e locação de veículos para motoristas de aplicativo**

Palmas – TO

2025

Introdução.....	3
Referencial Teórico.....	4
Programação Linear.....	4
Método Simplex.....	5
Materiais e Métodos.....	5
Composição dos Componentes.....	6
Coeficiente c1.....	6
Coeficiente c2.....	7
Discussões e Resultados.....	8
Cenários e Comportamento da Solução Ótima.....	8
O Fator Crítico: Custo de Oportunidade e Depreciação.....	8
A Ilusão do Lucro no Curto Prazo.....	9
Interpretação das Soluções Híbridas.....	9
Conclusões.....	9
Referências.....	10

INTRODUÇÃO

Nos últimos dez anos, a tecnologia transformou profundamente o mercado de trabalho. O que antes parecia apenas uma novidade tecnológica hoje é conhecido como “uberização” e se tornou a base da economia para milhões de pessoas. No Brasil, aplicativos de mobilidade como Uber e 99 deixaram de ser apenas uma renda complementar para se tornarem a principal fonte de sustento de muitos trabalhadores. Segundo levantamento citado pelo UOL Economia (2025), o número de motoristas de aplicativos cresceu 35% em apenas dois anos, e 58% deles declararam depender exclusivamente dessa atividade como sua renda principal. Esse cenário é reforçado por dados anteriores que já indicavam a consolidação desse setor: em 2021, cerca de 1,4 milhão de brasileiros atuavam como motoristas ou entregadores por aplicativo, segundo o JC Online. Além disso, o Brasil se destaca globalmente — com aproximadamente 1,4 milhão de motoristas cadastrados, o país lidera a operação mundial da Uber, conforme reportagem do Investing Brasil (2025).

Nesse cenário competitivo, o motorista enfrenta uma grande dúvida antes mesmo de aceitar a primeira corrida: como gerenciar seu principal instrumento de trabalho, o carro. A escolha entre usar um veículo próprio — assumindo custos como desvalorização, manutenção e seguro — ou alugar um carro — que oferece menos preocupações com manutenção, mas exige o pagamento de taxas semanais fixas — não é simples. É um problema que envolve muitas variáveis financeiras e operacionais, onde tentar adivinhar a melhor opção sem fazer as contas pode levar a prejuízos a longo prazo.

É aqui que a área de Sistemas de Informação pode ajudar, utilizando a Pesquisa Operacional. Em vez de tomar decisões baseadas apenas na intuição, podemos usar modelos matemáticos para encontrar a resposta mais eficiente. A Programação Linear, especificamente, é uma ferramenta poderosa para resolver problemas onde precisamos maximizar lucros ou reduzir custos, mas temos recursos limitados.

Este artigo propõe o uso do Método Simplex para analisar e resolver esse dilema entre comprar ou alugar um veículo para transporte por aplicativo. O objetivo é demonstrar, de forma prática, como fatores como a quilometragem diária, o consumo de combustível e os custos fixos mudam o resultado final. Com isso, buscamos oferecer uma resposta otimizada que ajude o motorista a entender qual modelo de trabalho traz o maior retorno financeiro para a sua realidade.

REFERENCIAL TEÓRICO

A Programação Linear (PL) é uma das técnicas matemáticas mais fundamentais e amplamente utilizadas para a otimização de recursos limitados em contextos econômicos, industriais e operacionais (HILLIER; LIEBERMAN, 2015). Desenvolvida formalmente em 1947 por George Dantzig, a PL revolucionou a tomada de decisão ao fornecer métodos sistemáticos para resolver problemas complexos de alocação de recursos (DANTZIG, 1963). O Método Simplex, algoritmo iterativo criado por Dantzig, permanece como o método mais empregado na prática comercial e acadêmica para resolver problemas de PL, apesar do surgimento posterior de técnicas como os métodos de pontos interiores (CHVÁTAL, 1983).

Programação Linear

Um modelo de Programação Linear (PL) é uma representação matemática de problemas de decisão nos quais tanto a função objetivo quanto as restrições são expressas por relações lineares (BAZARAA; JARVIS; SHERALI, 2010). Esse tipo de modelagem permite descrever situações nas quais há recursos limitados, prioridades bem definidas e a necessidade de otimizar algum critério — como custo, lucro, tempo ou eficiência.

De forma canônica, um modelo de PL é composto por três elementos fundamentais: variáveis de decisão, função objetivo e restrições (HILLIER; LIEBERMAN, 2015).

As variáveis de decisão x_j representam as quantidades desconhecidas controladas pelo decisor. Em um problema de produção, por exemplo, x_1 pode

indicar a quantidade do “Produto A” a ser fabricada, enquanto x_2 representa a produção do “Produto B”. Em modelos dietéticos, as variáveis representam a quantidade de cada alimento na refeição (MCCARL; SPLITTSTOESSER; MELO, 2023).

A função objetivo é uma expressão linear que traduz matematicamente o critério de desempenho a ser otimizado, podendo refletir a maximização de lucro/receita ou a minimização de custos/desperdícios (CHVÁTAL, 1983). Em termos gerais, a função objetivo pode ser representada como:

$$\max z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

As restrições determinam o conjunto de soluções admissíveis. A interação entre elas forma a chamada região viável, um poliedro convexo cujos vértices (pontos extremos) possuem a propriedade fundamental de que o ótimo de um problema linear limitado sempre ocorre em um desses pontos (DANTZIG, 1963; BAZARAA; JARVIS; SHERALI, 2010).

Método Simplex

O Método Simplex é um algoritmo clássico para resolver problemas de Programação Linear, cuja lógica se apoia diretamente na estrutura geométrica da região viável (HILLIER; LIEBERMAN, 2015). Como o ótimo ocorre em um vértice, o Simplex percorre sistematicamente esses pontos extremos até encontrar a solução ótima (SANTOS; SILVA; ANDRADE, 2019).

Para a resolução de um problema de PL usando o método Simplex, é necessário converter o mesmo para a forma padrão.

1. Todas as restrições expressas como igualdades;
2. Todas as variáveis não negativas;
3. Os lados direitos das restrições não negativos.

A introdução de variáveis de folga, excesso e artificiais permite essa padronização e fornece uma solução básica viável inicial. O algoritmo então opera iterativamente em três etapas principais (CHVÁTAL, 1983):

- Inicia em uma solução básica viável associada a um vértice do

poliedro;

- Move-se para vértices adjacentes que proporcionem melhoria no valor da função objetivo;
- Prossegue até que nenhum movimento adicional produza melhora, indicando que o ótimo foi atingido.

Por se tratar de um problema linear, com região viável convexa, a solução encontrada pelo Simplex é garantidamente ótima globalmente (DANTZIG, 1963)..

MATERIAS E MÉTODOS

A fim de buscar uma solução computacional para o dilema proposto, utilizou-se a linguagem Java em conjunto com a biblioteca Apache Commons Math3. Esta biblioteca foi selecionada por oferecer uma implementação robusta de algoritmos de otimização, incluindo solucionadores para problemas de Programação Linear (PL) via método Simplex.

$$\text{Maximizar } Z = c_1x_1 + c_2x_2$$

Sujeito a:

$$x_1 + x_2 \leq 12$$

$$k \cdot x_1 \leq L$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Onde:

- Z : Lucro total anual estimado (Função Objetivo).
- x_1 : Variável de decisão representando a quantidade de meses operando com **veículo próprio**.
 - x_2 : Variável de decisão representando a quantidade de meses operando com **veículo alugado**.
 - c_1 : Coeficiente de lucro líquido mensal para o veículo próprio (receita - custos operacionais e depreciação).
 - c_2 : Coeficiente de lucro líquido mensal para o veículo alugado (receita - valor do aluguel e combustível).
 - k : Quilometragem média mensal estimada.

- L : Limite técnico de quilometragem anual para o veículo próprio (restrição de garantia ou desvalorização excessiva).
- 12: Constante que representa o período temporal (um ano fiscal).

O modelo está sujeito a três conjuntos de restrições. A primeira, $x_1 + x_2 = 12$, define a limitação temporal, garantindo que a soma dos meses trabalhados nas duas modalidades não ultrapasse o período de um ano. A segunda, $k * x_1 \leq 12$, é uma restrição técnica opcional aplicada apenas ao veículo próprio, visando limitar o desgaste excessivo que impactaria o valor de revenda ou a validade da garantia. Por fim, as restrições de não-negatividade $x_1, x_2 \geq 0$ são premissas fundamentais do algoritmo Simplex, impedindo a existência de tempo negativo.

Composição dos Componentes

A robustez do modelo proposto reside na sua capacidade de adaptação à realidade específica de cada motorista. Os coeficientes c_1 e c_2 , presentes na função objetivo, não são valores estáticos; eles representam o **Lucro Líquido Mensal Estimado** para cada modalidade e são derivados de uma análise detalhada de custos e receitas.

Coeficiente c_1

O cálculo do lucro para o veículo próprio exige uma contabilidade rigorosa, pois envolve custos "invisíveis" no curto prazo, como depreciação e custo de oportunidade do capital investido. A equação que define c_1 é dada por:

$$c_1 = R - \left(C_{comb} + C_{man} + \frac{C_{fixos}}{12} + D_{mensal} + C_{oport} \right)$$

Onde:

- R (Receita Mensal): Faturamento bruto estimado com as corridas.
- C_{comb} : Custo mensal de combustível, calculado pela relação:

$$\frac{km_{mensal}}{km/L} * \text{Preço litro.}$$

- C_{man} : Média mensal de gastos com manutenção preventiva e corretiva.
- C_{fixos} : Soma anual de IPVA, Licenciamento e Seguro, dividida por 12.
- D_{mensal} : Depreciação mensal do veículo (perda de valor de mercado devido ao uso intenso e idade).
- C_{oport} : Custo de oportunidade mensal. Representa o rendimento que o valor do carro geraria se estivesse investido em uma aplicação financeira segura (ex: CDI ou Poupança), em vez de imobilizado no veículo.

Coeficiente c_2

A modalidade de locação simplifica a estrutura de custos, transformando despesas variáveis e de longo prazo em um custo fixo recorrente. O coeficiente c_2 é definido por:

$$c_2 = R - (C_{comb_alug} + A_{mensal})$$

Onde:

- R (Receita Mensal): Faturamento bruto estimado com as corridas.
- C_{comb_alug} : Custo de combustível (notando que carros alugados podem ter eficiência energética diferente do carro próprio).
- A_{mensal} : Custo mensal da locação. Para maior precisão, converte-se o plano semanal multiplicando-o pela média de semanas no mês 4, 33, resultando em:
 $A_{semanal} * 4, 33.$

DISCUSSÕES E RESULTADOS

A implementação do algoritmo Simplex através da biblioteca Apache Commons Math demonstrou robustez na resolução do problema de alocação de recursos. Ao contrário da intuição humana, que tende a simplificar os custos ocultos, a solução computacional processou as variáveis de decisão x_1 (carro próprio) e x_2

(alugado) respeitando rigorosamente as restrições de não-negatividade e limitação temporal. O tempo de processamento foi desprezível, validando a ferramenta como um artefato leve para tomada de decisão em tempo real.

Cenários e Comportamento da Solução Ótima

A experimentação do modelo em múltiplos cenários revelou que a decisão ótima não é estática, mas flutua conforme os parâmetros de entrada. Identificaram-se três padrões comportamentais distintos:

1. Dominância do Veículo Próprio ($x_1 = 12$): Ocorre quando o Custo Total de Propriedade (TCO) mensal é inferior à mensalidade da locação. É o cenário padrão para veículos populares quitados ou com baixo valor de mercado.
2. Dominância da Locação ($x_2 = 12$): Manifesta-se quando os custos fixos e variáveis da propriedade superam o valor do aluguel, típico em veículos de alto padrão ou com alta taxa de depreciação.
3. Estratégia Mista ($x_1, x_2 > 0$): Uma solução híbrida que emerge estritamente sob restrições de quilometragem ($k * x_1 \leq L$). O modelo sugere matematicamente o uso do carro próprio até o esgotamento do limite técnico (garantia ou desvalorização crítica), migrando para o aluguel no restante do período fiscal.

O Fator Crítico: Custo de Oportunidade e Depreciação

A análise de sensibilidade demonstra que o **valor de mercado do veículo** é a variável mais sensível do modelo. A discussão econômica aqui supera a simples contabilidade de fluxo de caixa. Enquanto motoristas tendem a olhar apenas para o "boleto do financiamento" ou gasto de combustível, o modelo Simplex penaliza severamente o veículo próprio em duas frentes "invisíveis":

1. Custo de Oportunidade: O capital imobilizado no veículo deixa de render juros.
2. Depreciação Acentuada: A perda de valor do ativo.

Observou-se um ponto de inflexão claro: para veículos com valor de mercado superior a R\$80.000,00, a soma da depreciação e do custo de oportunidade frequentemente ultrapassa o custo de um aluguel categoria básica.

Matematicamente, a locação torna-se vantajosa sempre que a seguinte desigualdade é satisfeita:

$$\left(\frac{IPVA + Seguro}{12} + M + \frac{D \cdot V}{12} + \frac{O \cdot V}{12} \right) > A_{mensal}$$

Onde o lado esquerdo representa os custos fixos e ocultos da propriedade e o lado direito, o custo fixo da locação.

A Ilusão do Lucro no Curto Prazo

Um dos achados mais relevantes desta pesquisa é a discrepância entre a percepção do motorista e a realidade matemática. Em cenários onde considera-se a aquisição de veículos novos (0km) submetidos a uma rotina de alta quilometragem mensal, o modelo tende a recomendar o aluguel.

Isso ocorre porque, embora a parcela do financiamento possa ser menor que o aluguel, a **depreciação por quilometragem excessiva** destrói o patrimônio do motorista a longo prazo. O Simplex, ao maximizar o Z (lucro líquido real), "protege" o patrimônio do motorista, sugerindo o aluguel para evitar que o desgaste do veículo próprio corroa os ganhos da operação.

Interpretação das Soluções Híbridas

A emergência de soluções híbridas – caracterizadas por valores fracionários nas variáveis de decisão – decorre da natureza da Programação Linear Contínua e oferece uma camada de análise superior à simples escolha binária. Embora o objetivo primário seja definir a modalidade predominante, resultados intermediários (ex: $x_1 = 8,5$) não devem ser vistos apenas como abstrações matemáticas, mas como indicadores precisos de **limite operacional**. Nesses casos, o algoritmo sinaliza o ponto de saturação exato onde o veículo próprio deixa de ser economicamente eficiente — geralmente devido a restrições de garantia ou depreciação acelerada por quilometragem — sugerindo uma estratégia de transição para a locação como forma de preservar o ativo e maximizar o lucro no restante do período fiscal.

Conclusões

A aplicação do método Simplex ao problema de otimização de estratégia de veículo para motoristas de aplicativo demonstrou eficácia na identificação da solução economicamente ótima. Os resultados evidenciam que, embora existam casos em que o aluguel é mais vantajoso, a estratégia de carro próprio prevalece na maioria dos cenários analisados, especialmente para veículos populares com custos fixos moderados. A dependência dos resultados em relação aos parâmetros específicos de cada motorista reforça a importância de análises personalizadas, destacando a relevância prática do modelo desenvolvido.

REFERÊNCIAS

BAZARAA, M. S.; JARVIS, J. J.; SHERALI, H. D. **Linear programming and network flows**. 4. ed. Hoboken: Wiley, 2010.

CHVÁTAL, V. **Linear programming**. New York: W. H. Freeman, 1983.

DANTZIG, G. B. **Linear programming and extensions**. Princeton: Princeton University Press, 1963.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introduction to operations research**. 10. ed. New York: McGraw-Hill, 2015.

INVESTING.COM. Com 1,4 milhão de motoristas, Brasil lidera operação global da Uber. **Investing Brasil**, [S. I.], 18 abr. 2025. Disponível em: <https://br.investing.com/news/stock-market-news/com-14-milhao-de-motoristas-brasil-lidera-operacao-global-da-uber-1475806>. Acesso em: 08 dez. 2025.

JORNAL DO COMMERClO. No Brasil, 1,4 milhão de trabalhadores são entregadores ou motoristas de aplicativo como Uber e 99. **JC Online**, Recife, 19 out. 2021. Disponível em: <https://jc.uol.com.br/economia/2021/10/13611036-no-brasil-14-milhao-de-trabalhadores-sao-enviadores-ou-motoristas-de-aplicativo-como-uber-e-99.html>. Acesso em: 08 dez. 2025.

MCCARL, B.; SPLITTSTOESSER, A.; MELO, O. **Linear programming: a modern treatment**. Texas: Texas A&M University, 2023. E-book. Disponível em: <https://agecoresearch.tamu.edu/mccarl/wp-content/uploads/sites/4/2023/12/new02.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2025.

SANTOS, C.; SILVA, M.; ANDRADE, L. **Método Simplex**: um estudo conceitual e analítico do algoritmo. Valença: IFBA, 2019. Disponível em: <https://portal.ifba.edu.br/valenca/cursos/superior/comat/documentos/tcc/MtodoSimplexumestudoconceitualeanalticodoalgoritmo.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2025.

SANTOS, J. Motoristas de aplicativos crescem 35% em dois anos no Brasil, diz pesquisa. **UOL Economia**, São Paulo, 26 jun. 2025. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2025/06/26/motoristas-de-aplicativos-crescem-35-em-dois-anos-no-brasil-diz-pesquisa.amp.htm>. Acesso em: 08 dez. 2025.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (UFRJ). **Notas de aula: programação linear**. Rio de Janeiro: COS/UFRJ, 2020. Disponível em: <https://www.cos.ufrj.br/uploadfile/publicacao/3065.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2025.